

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El tiempo y las cargas no calculadas causan destrucciones en las mezclas asfálticas convencionales, por lo que se ve la necesidad de investigar procedimientos de fabricación de mezclas asfálticas modificadas exactamente sobre mezclas de alto módulo con adición de fibras acrílicas cuyos principales componentes secundaran al reducir el espesor de la carpeta de rodadura, se aumentará la rigidez de la mezcla otorgando mayor resistencia a la fisuración por temperatura, que podrá ser aplicado en zonas de temperatura extrema como el Chaco boliviano.

En los últimos años las mezclas asfálticas de alto módulo (MAM) han tomado una gran relevancia enfocados en el aspecto de la construcción de pavimentos, este trabajo fue elaborado por la Asociación de Productores y Pavimentadores asfálticos de Colombia (ASOPAC) y la universidad De Los Andes, dicho trabajo es realizado en el campo de la investigación se presentando la inclusión de fibras acrílicas a las mezclas asfálticas de alto módulo, estudios realizados por el Laboratorio de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Granada.

En este trabajo de investigación pretende evaluar el comportamiento mecánico y la resistencia que tienen las fibras acrílicas aplicadas a las mezclas asfálticas de alto módulo, analizando su comportamiento mecánico, durable y la trabajabilidad de estas mezclas. Se evaluara como inconveniente la elevada rigidez de las mezclas de alto módulo (MAM) que comprometen las propiedades mecánicas en relación con el tráfico, en cuanto a la resistencia a la fisuración por fatiga. En base a dichas observaciones se plantea la incorporación de fibras acrílicas en las mezclas de alto módulo (MAM) las cuales influirán directamente en el control y propagación de fisuras, mejorará la resistencia frente al esfuerzo a tracción y su capacidad de deformación, preverá diferentes patologías y reducirá la susceptibilidad térmica en

climas severos, tratando de mejorar la mezcla en forma económicamente competitiva. Desde el punto de vista de la durabilidad se plantea que el uso de fibras acrílicas adicionadas a las mezclas de alto módulo (MAM) es ventajoso al aumentar la resistencia a la fisuración térmica en zonas cálidas y reducirán las deformaciones plásticas, aumentar su módulo de rigidez.

Este trabajo usa la teoría de mezclas asfálticas de alto módulo establecidas en la norma AASTHO cuya aplicación se da en las construcción de carpetas asfálticas donde se presentan problemas en sus propiedades mecánico- resistentes, esta investigación servirá para que nuestros compañeros vean de forma amplia la rama de la ingeniería en carreteras tocando como punto la construcción de carpetas asfálticas y puedan prestar atención a los nuevos materiales de construcción que se puedan utilizar para mejorar las construcciones, su aplicación en nuestra sociedad es la de brindar investigación científica de la inserción de fibras acrílicas a las mezclas asfálticas de alto modulo mejorando sus propiedades de fluencia y estabilidad brindando mayor duración en los caminos a diferencia de las mezclas asfálticas convencionales que tienen una periodo de vida útil relativamente bajo, la ventaja de realizar esta investigación es de determinar una fórmula que reúna propiedades mejoradas en su estabilidad y fluencia capaces de economizar y hacer que dure más las carpetas asfálticas construidas, de este modo las empresas carreteras evitarán el constante mantenimiento provocado por las cargas no previstas y por el gradiente térmico variable en zonas cálidas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Baches, roderas, fisuraciones térmicas, deformaciones plásticas son algunos de los problemas presentes en todo el largo y ancho de los caminos principalmente en las zonas cuyo gradiente térmico es extremo esto debido a cargas externas no calculadas y a la variación térmica presente en nuestro departamento en particular en zonas bajas como el Chaco boliviano, donde las temperaturas llegan a sobrepasar los 40 grados centígrados ocasionando fallas en el pavimento.

Productores del área rural, comerciantes, profesionales del área urbana, juventud estudiosa, familias y la sociedad en general no pueden movilizarse debido al mal estado de los caminos generando molestia a los pasajeros, carreteras inseguras en transitabilidad, desgaste de los neumáticos y motorizados que circulan los caminos e intransitabilidad en época de lluvia e invierno, donde se presenta cambios de temperatura bruscos que afectan directamente a los caminos asfaltados.

Es necesaria la realización de proyectos camineros de vinculación a lo largo y ancho de nuestra región que cumplan con requisitos indispensables en cuanto a las propiedades mecánicas y de durabilidad para zonas de clima cálido del departamento de Tarija, siendo beneficiarias los comunarios de las regiones para poder transportar sus productos al mercado interno, profesionales de la ciudad que salen a trabajar al campo, familias que salen de viaje en motorizados, turistas que vienen a conocer las provincias y ciudadanía en general.

El constante avance tecnológico presentado en la actualidad hace que el hombre realice la búsqueda de más opciones para poder obtener seguridad y el confort en una búsqueda implacable de la mejora de las condiciones de transitabilidad de las vías mediante la colocación de una carpeta asfáltica que reúna mejores condiciones mecánicas frente a las condiciones severas que se presenta en el medio ambiente y la transitabilidad del tráfico.

Dicho de este modo la composición de los materiales empleados en la construcción de la mezcla asfáltica utilizado en zonas donde el clima varía intensamente, integrarán un

papel fundamental a la hora de obtener una mezcla que nos brinde seguridad, confort y la resistencia que se requiere.

Conociendo las variables por las cuáles realizaremos la investigación que con el uso de las mezclas de alto módulo (MAM), con adición de fibras acrílicas se podrá aumentar sus propiedades mecánicas en relación al tráfico obteniendo una carpeta asfáltica que brinde condiciones de seguridad mayores a las carpetas asfálticas convencionales. Con dicha mezcla se podrá reducir el espesor de la carpeta, se preverá el mantenimiento de los caminos afectados por las inclemencias del tiempo, y se obtendrá mayor seguridad y confort para el usuario que circula por los caminos de nuestro departamento.

1.3. DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Situación problemática

El departamento de Tarija con su amplia diversidad, cuenta con zonas demográficas bajas como lo es la población de Yacuiba y zonas altas como la población de Iscayachi, zonas donde las temperaturas llegan a ser extremas, en donde se realizan proyectos camineros importantes de integración, teniendo varias dificultades en la construcción de los pavimentos, debido a que las mezclas asfáltica convencionales presentan varios problemas en cuanto a sus propiedades mecánicas y de durabilidad, por el hecho de encontrarse en zonas de clima severo que afecta directamente el comportamiento de las capas asfálticas construidas en la región.

Deformaciones plásticas, roderas, fisuraciones térmicas, son problemas que se viven en los caminos construidos en regiones de temperaturas extremas, no pudiendo cumplir con su vida útil los diferentes tramos camineros, adicionando además el constante mantenimiento de los caminos que conllevan a gastos adicionales y a la intransitabilidad de las vías provocando molestia a los productores del área rural, comerciantes, profesionales del área urbana, juventud estudiosa, familias y la sociedad en general, que día a día utilizan los caminos para poder trasladarse de un lugar a otro.

Teniendo en cuenta los problemas presentes por el clima extremo presentes en la zonas de Tarija, se analiza la posibilidad de estudiar las mezclas asfálticas de alto módulo cuya característica es el aumento de su módulo de rigidez 2 o 3 veces en comparación con las mezclas convencionales así se mejorara la resistencia a la deformación por fatiga y resistencia a la deformaciones plásticas, pero al realizar este aumento de rigidez de la mezcla asfáltica, se cae en el peligro del aumento de la fisuración debido a las condiciones térmicas, por lo que se vio la posibilidad de adherir fibras acrílicas a las mezclas de alto módulo, de esta manera optimizaremos la resistencia a la fisuración térmica. Así alcanzaremos una mezcla asfáltica con propiedades mecánicas y de durabilidad mayor a las mezclas convencionales que puedan hacerle frente a los gradientes térmicos variables.

1.3.2. Problema

¿Si se aplican fibras acrílicas a las mezclas de alto módulo fabricadas con materiales de la región, se podrá mejorar el comportamiento de sus propiedades mecánico-resistente?

1.3.3. Alcance de la investigación

La presente investigación se realizará en la ciudad de Tarija además de su respectiva aplicación, para esta investigación se utilizara áridos propios de la región, de esta manera se realizará una comparación del comportamiento mecánico-resistente de las fibras acrílicas en las mezclas asfálticas de alto módulo con las mezclas asfálticas convencionales en cuanto a su estabilidad y fluencia.

El tiempo empleado en realizar la investigación es de aproximadamente 3 meses donde utilizaremos los laboratorios del Servicio Nacional de Caminos (SEDECA), en donde se realizara todos los respectivos ensayos de caracterización de los materiales y la obtención de datos para la presente investigación.

1.3.4. Objetivos de la investigación

1.3.5. Objetivo general

Experimentar la incidencia que tiene el uso de fibras acrílicas en la elaboración de mezclas asfálticas de alto módulo, variando la cantidad de acuerdo a modalidad establecida en la especificación del fabricante a mayor, de tal manera se pueda obtener un efecto de mejoramiento en las propiedades mecánico resistentes que usualmente se aplican en la construcción de pavimentos flexibles.

1.3.6. Objetivos específicos

- Analizar los componentes, sus características y procedimientos de elaboración de mezclas asfálticas de alto módulo.
- Establecer las características y propiedades de las fibras acrílicas que son utilizadas en el campo vial.

- Analizar la ubicación y su caracterización, de los materiales a estudiar.
- Determinar el efecto que tiene la proporción de la cantidad de fibras acrílicas que se coloca en la mezcla asfáltica de alto módulo en las propiedades de estabilidad y fluencia.
- Procesar los resultados obtenidos para luego analizar los indicadores más importantes estudiados.
- Establecer los resultados y el análisis realizado de la investigación de las mezclas de pavimento en condiciones severas de temperatura.
- Establecer las conclusiones y las recomendaciones en base a los resultados obtenidos de la investigación realizada para zonas climáticas severas.

1.3.7. Hipótesis: Argumentación de la hipótesis

Si experimentamos con especímenes realizados en laboratorio usando áridos de la región y fibras acrílicas en mezclas asfálticas de alto módulo, entonces se podrá obtener una mezcla asfáltica optimizada en sus propiedades mecánico-resistentes en relación al tráfico para su comparación con las mezclas asfálticas convencionales.

1.3.8. Definición de la variable independiente y dependiente

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Características del agregado.
- Características del Cemento asfáltico.
- Cantidad de fibras acrílicas

VARIABLE DEPENDIENTE:

PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS:

-Estabilidad

-Fluencia

Definición conceptual:

- Materiales para hacer la mezcla asfáltica:
- Agregados 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.
- Agregado fino.-Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm(N^o4) y 75 µm (No. 200). El agregado fino deberá proceder de trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.
- 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.
- Fibras acrílicas.- Las fibras acrílicas son compuestos formados por polímeros lineales cuya cadena está constituida por lo menos de 85% en peso de acrilonitrilo.
- 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, se mide con la prensa del ensayo Marshall.
- Estabilidad.-Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezclas asfálticas para resistir la deformacion y el desplazamiento, debido a carga de tráfico vehicular calculada en libras en la prensa del ensayo Marshall.

Definición operacional:

Tabla 1.Operacionalización de las variables.

Variable	Dimensión	Indicador	Valor o acción
Agregado	La cantidad de agregados variara de acuerdo a la dosificación realizada ya sea en mezclas convencionales o mezclas de alto modulo.	Mezcla de alto módulo 60% de agregados grueso	(Especificaciones de la Norma ASTM)
		Mezcla convencional 53% del agregado grueso.	(Especificaciones de la Norma ASTM)
Cemento asfáltico	El porcentaje optimo es de 6,22% para la mezcla convencional y de alto módulo	Debe estar entre 6-7% del peso del agregado	Comparar con especificaciones de mezclas convencionales y de alto módulo (norma AASTHO)
Fibras acrílicas	Cantidad de fibras acrílicas variara de acuerdo a criterio del investigador.	0,5%- 6% se hará variar las cantidades de fibras acrílicas.	Valor extraído de especificaciones técnicas del fabricante.
Propiedades	1. Estabilidad tráfico pesado	Mínima de 818,8 kg a 75 golpes.	(Especificaciones de la Norma AASTHO)
	2. Fluencia tráfico pesado	8mm-14 mm.(0,01 pulgadas) a 75 golpes	

Fuente: Elaboración propia.

1.4. Diseño metodológico

1.4.1. Componentes

1.4.2. Unidad de estudio

Comportamiento de las propiedades de estabilidad y fluencia a causa y efecto que se obtiene cuando se adiciona fibras acrílicas a las mezclas asfálticas de alto módulo.

1.4.3. Población

Mezclas asfálticas de alto módulo modificado con fibras acrílicas.

1.4.4. Muestra

Cantidad de Fibras acrílicas adicionadas a las mezclas asfálticas de alto módulo utilizando agregados de la región.

Los agregados a utilizar son provenientes de la planta asfaltadora ubicada en la comunidad de La Pintada perteneciente a la Alcaldía Municipal de Tarija.

1.4.5. Muestreo

Se hará la evaluación del comportamiento de la estabilidad y fluencia mediante el ensayo de laboratorio Marshall, observando los cambios producidos cuando se varía la cantidad de fibras acrílicas en las mezclas de alto módulo elaboradas con materiales de la región.

1.4.6. Métodos y técnicas empleadas

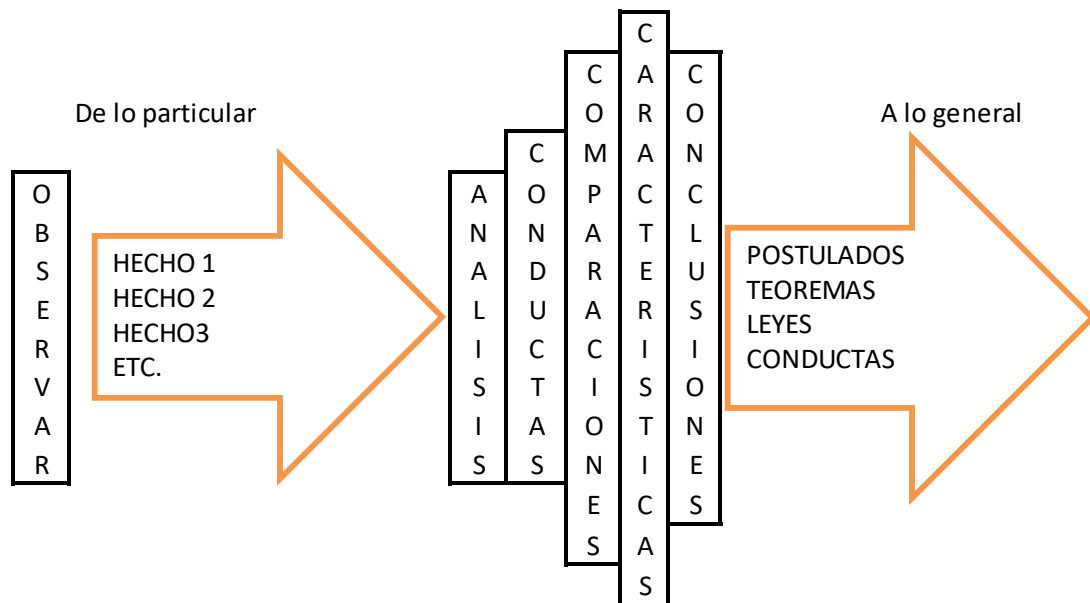
1.4.7. Definición del método empleado

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 hará comparaciones y experimentos.
- Se llegará a conclusiones, en función de lo analizado.



Para realizar la investigación se utiliza el método explicativo, el cuál 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.

1.4.8. Técnicas en función del objeto y objetivo

Las técnicas empleadas serán de carácter experimental, se realizarán diferentes ensayos de laboratorio para realizar la caracterización de los agregados y del cemento asfáltico, estos materiales serán propios de la región.

1.4.9. Ensayos de laboratorio a realizarse

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.

1.4.10. Ensayo en ligante asfáltico

Para caracterizar y evaluar la calidad del ligante asfáltico existen diversos ensayos tradicionales que tratan de reproducir el comportamiento a escala real del material, la importancia del conocimiento de los requisitos y exigencias de calidad del ligante asfáltico.

- Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (ASTM E-102).
- Ensayo de penetración (ASTM D-5).
- Ensayo de ductilidad (ASTM D-113).
- Ensayo de punto de inflamación (ASTM D-92).
- Ensayo de peso específico (ASTM D-70).

1.4.11. Ensayo sobre la mezcla asfáltica

- Método Marshall (ASTM D-1559).
- Ensayo de estabilidad y flujo.

1.4.12. Técnicas de muestreo

La técnica de muestreo a utilizarse es la No Probabilística. Debido a que seleccionamos una muestra (cantidad de fibras acrílicas) de la población, por el hecho de ser accesible para su respectiva evaluación y análisis.

La conveniencia de utilizar el método no probabilístico es la factibilidad operativa y los bajos costos de muestreo, pero en consecuencia tiene la imposibilidad de hacer afirmaciones con severidad estadística en la población.

En esta investigación tenemos como población las mezclas asfálticas de alto módulo y como muestra la cantidad de fibras acrílicas adicionadas, habiendo tomado de todo el universo poblacional de las mezclas asfálticas sólo un tópic, el cuál será analizado mediante ensayos de laboratorio.

1.4.13. Descripción de los instrumentos para la obtención de datos

Los instrumentos que se utilizarán para realizar la obtención de datos están clasificados dependiendo de los ensayos a realizarse en laboratorio, de los cuales serán explicados los más importantes:

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

Equipo

- Cuarteador.- Es de acero inoxidable o acero ASTM A36. Tamaños de 1/2", cada cuarteador incluye un tolván de alimentación y dos capachos para la recepción de muestras procesadas.
- Equivalente de la arena y agregados finos (ASTM D 2419)

Equipo

- Tubo irrigador.- De acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
- Sistema de Sifón. Se compone de un botellón de 1 galón (3.8 lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del

sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.

- Probeta graduada. Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
 - Tubo flexible. De caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta el tubo irrigador con el sifón.
 - Pisón de metal. Consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo dentro del cilindro. Lleva una sobrecarga en forma cilíndrica, de tal manera que el conjunto pese 1 kg. (Barra metálica, disco y sobrecarga).
 - Recipiente metálico. De estaño aproximadamente de 57 mm de diámetro con capacidad de 85 ± 5 ml, borde superior uniforme de modo que la muestra que se coloca en ella se pueda enrasar para conseguir el volumen requerido.
 - Cronómetro o reloj.- Para realizar lecturas en minutos y segundos
 - Embudo.- De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
 - Horno. Capaz de mantener temperaturas de 110 ± 5 °C.
- Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (ASTM C-131).

Equipo:

- Máquina de los Ángeles.- Este equipo consta de un tambor montado en los extremos con ejes y rodamientos sobre una estructura metálica, la cual lo soporta para que este gire de acuerdo a lo programado, el motor hace funcionar el tambor en un determinado número de vueltas según se requiera en la realización del ensayo.

- Esferas de acero.- Las esferas de acero deben tener un diámetro de 46.38mm y peso 390gr
- Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (ASTM E-102).

Equipo:

- Viscosímetro.-El viscosímetro es de metal no corrosivo. La punta del orificio, Furol o Universal, se puede fabricar como una parte sustituible. Debe tener una tuerca en el extremo inferior del mismo para asegurarlo en el baño. Se debe contar con un corcho u otro medio para evitar el flujo de la muestra antes de iniciar el ensayo. Una pequeña cadena o una cuerda se puede unir al corcho para facilitar su remoción.
- Cronómetro – Graduado en décimas (1/10) de segundo y con aproximación a 0.1%.
- Embudo con filtro.-Equipado con tamices intercambiables de 850 μm (No.20), 150 μm (No.100) y 75 μm (No.200).
- Ensayo de penetración (ASTM D-5).

Equipo:

- Penetrómetro.- Es el equipo que permite el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago, se indica la profundidad de penetración con una precisión de 0,1 mm. El peso del vástago es de 47,5 (+/-)0,05 gr. El peso de la aguja del vástago es de 50 (+/-) 0,05 gr.
- Aguja de penetración.- La aguja es de acero inoxidable templado y duro, grado 440-C o equivalente, HRC 54 a 60; debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.
- Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes: Para penetraciones bajo 200. Diámetro

(mm) 55 Profundidad (mm) 35. Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70.

- Cronómetro.- Aparato que mida el tiempo, el cuál debe estar graduado en 0,1 o menos y cuya precisión esté dentro de $\pm 0,1$ seg. para un intervalo de 60 seg.
- Ensayo de ductilidad (ASTM D-113).

Equipo:

- Ductilómetro.- Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se mantenga continuamente sumergida en agua, al mismo tiempo que los clips se traccionan a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termo regulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia indicada.
- Ensayo de punto de inflamación (ASTM D-92).

Equipo:

- Aparato de copa abierta Cleveland.- Es un equipo adaptado donde se ubica un vaso abierto en el cual se desarrollara los ensayos.
- Ensayo de peso específico (ASTM D-70).

Equipo:

- Picnómetro.- Recipiente de vidrio de forma cilíndrica o cónica, con boca esmerilada en la cual debe ajustar exactamente y sin fugas, un tapón de vidrio de 22 a 26 mm de diámetro, en el centro del cual llevará un orificio de 1.0 a 2.0 mm de diámetro. La superficie superior del tapón será plana y pulida, y la inferior tendrá forma cóncava para facilitar la expulsión del aire del picnómetro, el cual tendrá una capacidad de 24 a 30 ml y una masa, incluido el tapón, no

superior a 40 g. La altura de la sección cóncava deberá ser de 4.0 a 6.0 mm en el centro.

- Método Marshall (ASTM D-1559).
- Compactadora mecánica de briquetas.- Una máquina para la aplicación de la carga vertical, especialmente diseñada para esta clase de prueba, cuya capacidad es de 2724 Kg. (6000 Lb.)
- Martillo de compactación.- Un martillo o pisón de base circular con 9,8 cm. (3 7/8") de diámetro, 4,5 Kg. (10 Lb.) de peso y 46 cm. (18") de caída libre.
- Dispositivo para moldear probetas.- Moldes para la preparación de muestras de 10 cm. (4") de diámetro interior. Cada molde tiene una base metálica y se halla dividida en dos secciones; la sección inferior tiene 7,5 centímetros (3") de altura, y la superior 6,35 cm. (2 1/2").
- Medidor de la estabilidad.- Un dispositivo para las pruebas de estabilidad, especialmente diseñado, y formado por dos segmentos semicirculares cuyo diámetro interior mide 5 cm. (2")

1.5. Procedimiento de aplicación

Criterio de fibras acrílicas:

El porcentaje de fibras acrílicas recomendable según las especificaciones del fabricante es de 0,3% a 0,6% del peso total del agregado por tal motivo y para fines investigativos se procederá a hacer variar entre los porcentajes de 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 4%, y 6%. Dichos porcentajes serán variados en el laboratorio y además de que los porcentajes asumidos cumplen con la factibilidad económica del uso de las fibras acrílicas en las mezclas asfálticas, además de que dichos porcentajes nos garantizan que la mezclas asfálticas mejoraran sus propiedades a analizar en el experimento sin caer en el riesgo de elaborar mezclas asfálticas con sobrepuestos en su fabricación y aplicación en el campo de la construcción vial.

Con el criterio asumido se procederá a realizar la fabricación de mezclas asfálticas en caliente, adicionando fibras acrílicas, cuyas propiedades a medir y analizar serán mediante el ensayo Marshall que mide lo siguiente:

-Estabilidad

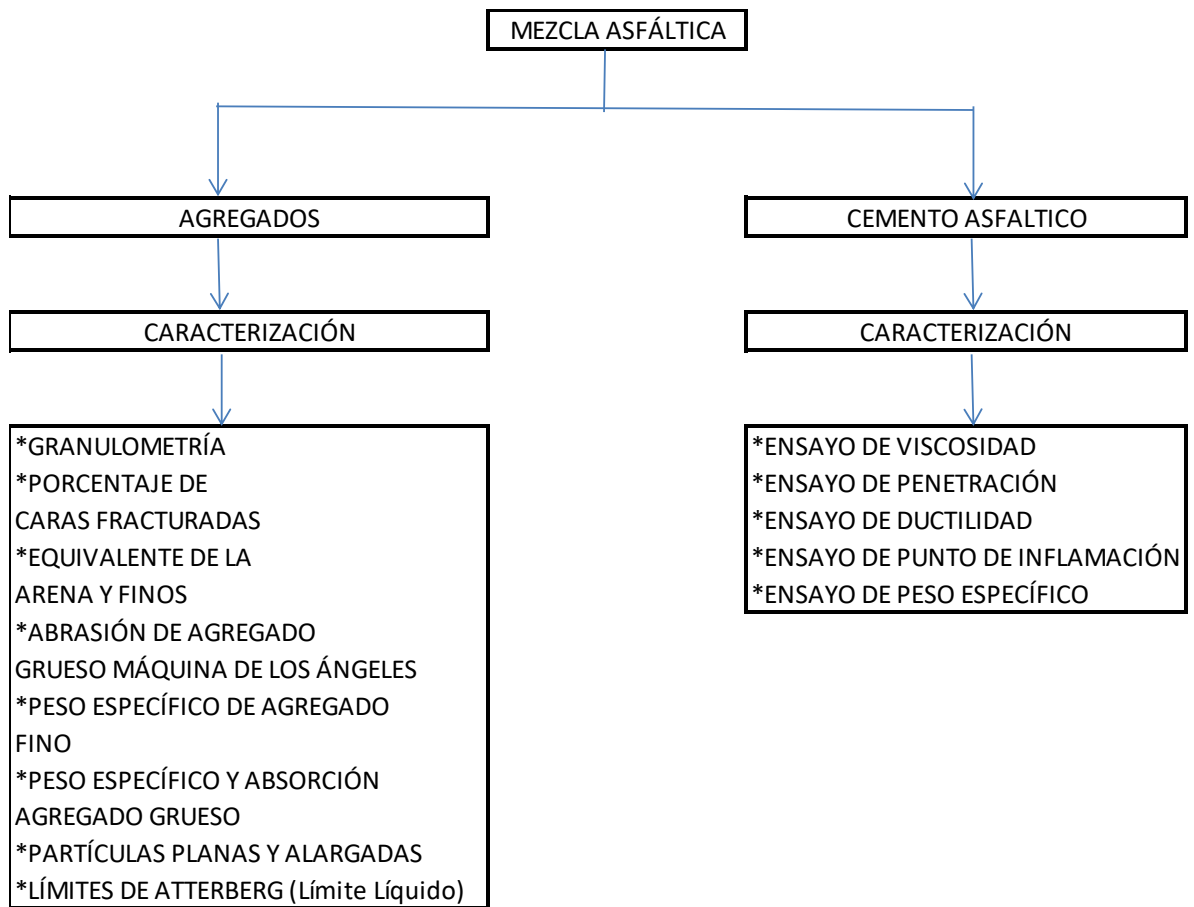
-Fluencia

Modo de aplicación:

Se variará el porcentaje de las fibras acrílicas en las mezclas de alto módulo en diferentes porcentajes realizando 3 especímenes para cada (%) de fibras acrílicas adicionadas de esta manera obtendremos representatividad en los especímenes analizados, realizando 3 ensayos por cada variación de porcentaje, el número óptimo confiabilidad en los resultados, de esta manera haremos un total de 18 briquetas de mezclas asfálticas de alto módulo con adición de fibras acrílicas, 3 briquetas de mezclas de alto módulo y el parámetro de comparación serán 5 briquetas de mezclas asfálticas convencionales, que compararemos y evaluaremos su estabilidad y fluencia..

Los áridos triturados serán obtenidos de la planta asaltadora ubicada en la comunidad de la Pintada perteneciente a la Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija, para su caracterización.

De igual manera el cemento asfáltico se obtendrá de la Alcaldía Municipal de la Provincia Cercado y mediante los ensayos de laboratorio se caracterizará el cemento asfáltico 85-100. Para las mezclas de alto módulo se requiere de un cemento asfáltico modificado con polímero cuya penetración sea de 20-30.



Mezcla asfáltica:

Caracterización de los agregados:

1. Granulometría.- Se realizarán 3 granulometrías de los agregados, de la cuál se sacará un promedio para poder utilizarlo en la dosificación de las briquetas.
2. Porcentaje de caras fracturadas.- Se realizarán 3 ensayos de porcentaje de caras fracturadas, para el agregado de 3/8 y 3/4.
3. Porcentaje de partículas laminadas.- Se realizará un ensayo del porcentaje de partículas laminadas tomando una muestra representativa para el agregado de 3/8 y de 3/4.
4. Porcentaje de partículas chatas y alargadas.- Se realizará un ensayo del porcentaje de partículas chatas y alargadas tomando una muestra representativa para el agregado de 3/8 y de 3/4.

5. Equivalente de la arena y agregado fino.- Se realizarán 3 ensayos de equivalente de la arena, de los cuales se sacara un promedio el cual será utilizado para los siguientes cálculos.
6. Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles.- Se realizará 1 ensayo de los agregados de 3/8 y 3/4.
7. Peso específico del agregado fino.- Se realizarán 3 ensayos del agregado fino y posteriormente se sacará su promedio para utilizarlo en los cálculos.
8. Peso específico y absorción del agregado grueso.- Se realizará 1 ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso de los agregados de 3/8 y 3/4 para posteriormente utilizarlo en los cálculos siguientes.

Caracterización del cemento asfáltico:

1. Ensayo de viscosidad SAYBOLT-FUROL.- Se realizarán 3 ensayos de viscosidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
2. Ensayo de ductilidad.- Se realizarán 3 ensayos de ductilidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
3. Ensayo de punto de inflamación.- Se realizarán 2 ensayos del punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100, del cual se obtendrá su promedio.
4. Ensayo de peso específico.- Se realizarán 2 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100, del cual se obtendrá su promedio.

Mezcla asfáltica para determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico:

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

Tabla N°2. Variaciones del porcentaje de cemento asfáltico.

Porcentaje de cemento asfáltico(% de CA)	Número de briquetas(Unidad)
4,80%	3
5,30%	3
5,80%	3
6,30%	3
6,80%	3
total briquetas elaboradas	15

Fuente: Elaboración propia

2. Se realizarán 15 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, del cuál se obtendrá el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizar en los cálculos.

Detalle de la investigación:

1. Mezclas asfálticas convencionales.- Se elaborarán 9 briquetas con mezclas asfálticas convencionales, cuyo cemento asfáltico será 85-100 estas briquetas representaran el patrón, con lo cuál procederemos a comparar y evaluar estadísticamente como ondulan y varían las propiedades de fluencia y estabilidad de los ensayos analizados.
2. Mezclas asfálticas de alto módulo con adición de fibras acrílicas.- Se elaborarán 3 briquetas de mezclas asfálticas de alto módulo con adición de fibras acrílicas, cuyos porcentajes a variar serán 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 4% y 6% fabricando 3 briquetas por cada porcentaje de fibras acrílicas.
3. Mezclas asfálticas de alto módulo.- Se fabricarán 3 briquetas con mezclas de alto módulo para comparar como fluctúan estadísticamente los valores.

Detalle de la comparación y ensayos a realizar:

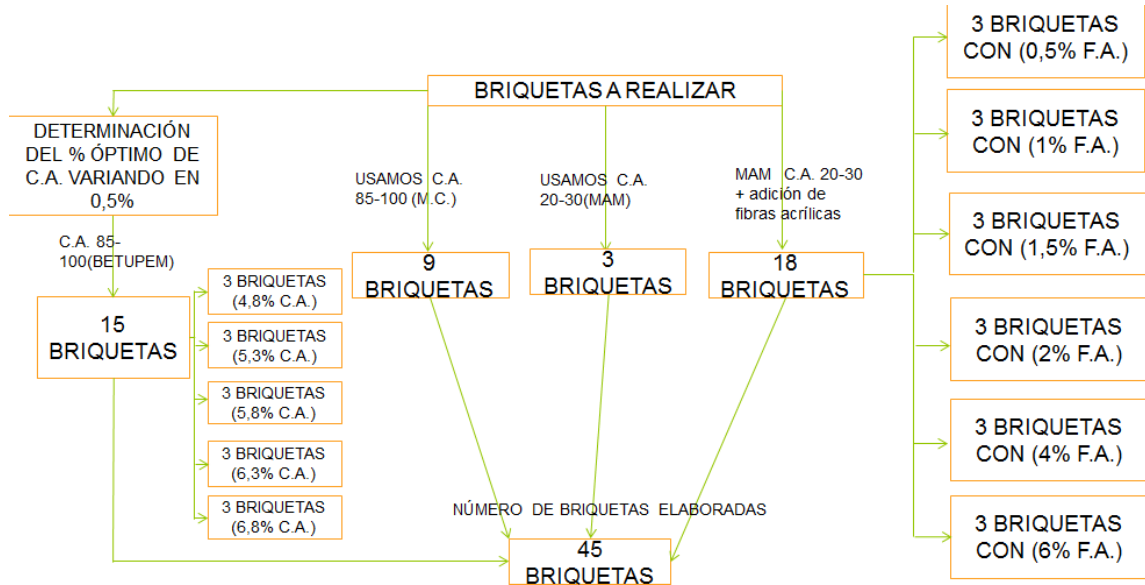
Tabla N°3. Total de briquetas fabricadas para la evaluación de las fibras acrílicas.

	DESCRIPCION	CANTIDAD(UNIDAD)
	Mezclas convencionales	9
	MAM	3
Mezclas de alto módulo(MAM) con adición de fibras acrílicas	0,50%	3
	1%	3
	1,50%	3
	2%	3
	4%	3
	6%	3
TOTAL		30
TOTAL BRIQUETAS ELABORADAS PARA LOS ENSAYOS		45

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido 15 especímenes para determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y 30 especímenes, de las cuáles 3 briquetas pertenecen a mezclas asfálticas de alto módulo y 9 briquetas a mezclas asfálticas convencionales y 18 briquetas pertenecen a mezclas asfálticas de alto módulo con adición de fibras acrílicas e diferentes porcentajes, explica en la tabla N°3 , procederemos a comparar y evaluar estadísticamente como ondulan y varían las propiedades de fluencia y estabilidad de los ensayos analizados, previamente corregidos.

Figura N°1. Resumen de los ensayos a realizar.



Fuente: Elaboración propia.

1.5.1. 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 DE LA INVESTIGACIÓN

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Refinación del asfalto

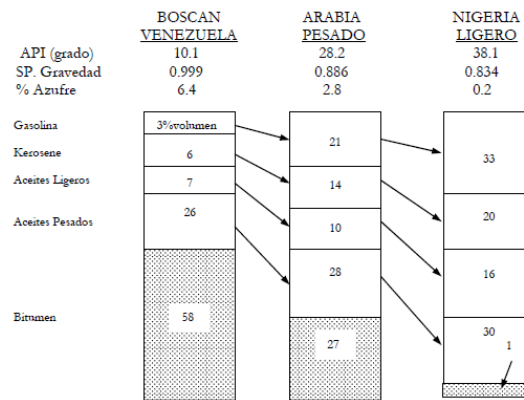
El crudo de petróleo varía en composición dependiendo de la fuente, produciendo diferentes tipos y cantidades de cemento asfáltico residual y otras fracciones destilables.

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:

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

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 2. 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.

2.2. Avances del cemento asfáltico

En los últimos los 10 años se han producido avances destacables en las mezclas bituminosas, entre los que se puede destacar:

- Se impusieron los betunes modificados a la venta del orden de 150000 tn. al año. empezaron a utilizarse los betunes tipo BM-1 no desarrollados anteriormente. Los avances en la técnica de los ligante modificados, suponen uno de los aspectos más notables de la técnica moderna de las carreteras. Se ha olvidado ya el planteamiento pasivo de ver que las aplicaciones se podían dar a los limitados betunes existentes y se ha pasado a una tecnología activa de diseño de betunes incorporando a ellos los modificadores necesarios que permitan obtener el ligante adecuado para cada situación, incluso para las más complicadas.
- Se iniciaron a generalizar las emulsiones termo adherentes para riegos de adherencia. El renovado interés en estos riegos tuvo dos orígenes. Uno fue la

percepción de que la falta de adherencia es consecuencia de muchos fallos en nuestras carreteras.

- Otro aspecto fue la necesidad de colocar riegos de adherencia más espesos que los habituales para preservar entre otras cosas, la impermeabilidad del firme que algunas de las modernas capas de rodadura no aseguran. Inicialmente se intentó aumentar la dotación y asegurar la integridad de los riegos mediante las extendedoras con barra de riego incorporada, pero su precio elevado y las dificultades operativas impidieron que se generalicen. Las emulsiones termoadherentes, fabricadas con betún duro y en algunos casos con betunes modificados han terminado imponiéndose.

2.3. Cemento asfáltico

A temperatura ambiente el cemento asfáltico es negro, pegajoso, semisólido, y altamente viscoso. Es un cemento fuerte y durable con excelentes características adhesivas e impermeables. También es muy resistente a la acción de muchos ácidos, álcalis y sales.

Los grados del cemento asfáltico, basados en su consistencia, son disponibles comercialmente. Para clasificar o definir la gradación del cemento asfáltico se usan tres métodos basados en la penetración, viscosidad o performance. (1)

2.4. Caracterización de los materiales asfálticos

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 ligante 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.

2.5. Adhesividad a los áridos

Para que el asfalto se adhiera a los áridos es necesario en primer lugar, que haya un buen contacto entre la superficie del árido y el asfalto, en segundo lugar, que existan fuerzas de atracción entre ambos.

La adhesividad árido-ligante es un fenómeno muy complejo que depende de la naturaleza tanto del árido como del asfalto, así como de las condiciones específicas de estos materiales en la obra (limpieza y contenido de humedad del árido, temperatura de mezclado, etc.).(2)

2.6. Reología del asfalto

La reología se encarga de estudiar la fluencia y la deformación de la materia. En sentido más stricto la reología mide la deformación de los cuerpos que no son ni sólidos ni líquidos, es decir, de cuerpos intermedios entre solido elástico y líquido viscoso.

- Los materiales se asumen como cuerpos ideales y elásticos.

- Se usan los materiales en condiciones donde el modelo elástico no tiene más validez.
- Se puede obviar fenómenos secundarios en los que la teoría elástica no tiene importancia. Acero y hormigón no son elásticos, existe una relajación los aceros y variaciones en el hormigón.
- Los materiales no son puramente elásticos ni viscosos: los materiales plásticos, el hormigón bituminoso, entre otros.

2.7. Mezclas asfálticas

Concepto

La mezcla asfáltica se puede definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante 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).

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).

2.8. Tipos de mezclas asfálticas

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 mástico 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.

2.9. Propiedades consideradas en el diseño 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

2.10. Diseño de una mezcla asfáltica

El objetivo principal del diseño mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de colocación.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

El diseño de mezcla adecuado, es generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente.

Se han desarrollado algunos métodos de proporcionamiento de asfalto y agregado para una mezcla asfáltica en caliente. Siendo el más conocido el método Marshall.

2.11. Mezclas asfálticas en caliente

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.

2.12. Mezclas asfálticas de alto módulo (MAM)

Introducción

Una de las principales ventajas de los pavimentos de larga duración, es que el tipo de deterioro causado por la fatiga de las capas inferiores, puede ser eliminado y el deterioro de la estructura se ve confinado solamente a la capa de rodadura. Así cuando el deterioro en la capa de rodadura alcanza niveles críticos, se emplea una solución más económica enfocada solamente a un mantenimiento superficial de la estructura.

En la estructura de los pavimentos de larga duración, la capa asfáltica de base debe ser diseñada para resistir la tendencia a la fisuración por fatiga producida por las repetidas cargas de tráfico que solicitan la estructura. Para ello, la mezcla utilizada debe tener las características que ayuden evitar, o bien mitigar, la formación y propagación de fisuras por fatiga. Estudios realizados establecen que mezclas de mayor flexibilidad, con mayor contenido de betún en la mezcla, inhiben la formación y propagación de las fisuras por concepto de fatiga, mejorando así las características de la mezcla. Lo señalado anteriormente, combinado con un espesor de mezcla adecuado minimiza las tensiones de tracción producidas por las cargas solicitantes, asegurando el buen comportamiento de la estructura de pavimento ante el deterioro de agrietamiento por fatiga.

La capa intermedia de la estructura del pavimento de larga duración debe combinar las características de estabilidad y durabilidad. La estabilidad en esta capa es obtenida mediante una granulometría y calidad de áridos que proporcione un adecuado esqueleto mineral capaz de generar una buena resistencia interna a la mezcla, junto con un ligante de baja penetración o muy alta viscosidad que permita otorgar a la mezcla una capacidad de soportar las cargas generadas por las solicitaciones del tráfico. La mezcla

utilizada en esta parte de la estructura del pavimento es también llamada mezcla de alto módulo (MAM). (3)

2.13. Concepto de mezclas asfálticas de alto módulo (MAM)

Son mezclas bituminosas con granulometría continua que tienen un porcentaje de filler entre 7-10% y son fabricadas con asfalto especial de penetración 20-30, o bien con asfalto modificado con polímero de muy baja penetración. Son mezclas con altos contenidos de cemento asfáltico entre 5-7% que permite obtener un alto módulo de rigidez, desarrollando una buena resistencia a la tracción y a la fatiga.

Las características antes señaladas hacen ser, a las mezclas de alto módulo muy atractivas, puesto que permiten reducir los espesores de las carpetas asfálticas convencionales, apoyándose las propuestas de reducción en los modelos analíticos de dimensionamiento de firmes.

Estas mezclas presentan módulos muy altos, similares a los de la grava-cemento y son, por lo tanto, muy adecuados para reforzar calzadas cuando hay limitaciones de espesor. Como capa de rodadura se suele aplicar mezcla bituminosa delgada. En pavimentos de nueva construcción este tipo de mezclas empleadas, como capa de base permiten sustituir las gravas-cemento evitando los problemas de fisuraciones o bien las mezclas bituminosas reduciendo su espesor.

El empleo de asfalto modificado aumenta las posibilidades de deformación de este tipo de mezclas y aumenta la resistencia a la fatiga, por lo que se recomienda su empleo cuando se apliquen sobre soportes deformables.

2.13.1. Materiales

Como se ha mencionado anteriormente, la mezcla de alto módulo es la combinación de un buen esqueleto mineral y un asfalto duro de excelente comportamiento. Por esta

razón solamente se acepta agregado procedente de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas.

La gradación de las mezclas de alto módulo está fundamentada en una curva granulométrica cerrada que proporcione un esqueleto mineral importante, combinado con una alta cantidad de “mastic”. El esqueleto mineral se logra con un porcentaje de gravas que varía entre el 50 y el 60%, logrando una alta fricción interna y una gran resistencia al ahuellamiento, un porcentaje de arenas variable entre 40 y 50%, de tal forma que se disminuye el porcentaje de agregado de tamaños intermedios, como sucede en una curva de gradación discontinua, y un porcentaje de llenante mineral del 7 al 9%. Este alto porcentaje de llenante, tiene como objetivo principal permitir que la mezcla asfáltica sea rica en contenido de ligante asfáltico, generando una pasta que posibilita el desarrollo de altas resistencias a la fatiga. Con respecto a las mezclas densas para rodadura la gradación para mezclas de alto módulo tiene 10% o 15% más de agregado grueso, 11% a 15% menos de agregado fino y un 2% más de llenante mineral.

2.13.2. Materiales pétreos que se emplean en las capas de pavimento

Los materiales que se emplean en la construcción de capas para carpetas en pavimentos flexibles se pueden clasificar en los grupos siguientes:

- Materiales naturales, que requieren uno o varios de los siguientes tratamientos: disgregado, trituración o lavado.
- Mezcla de dos o más materiales del grupo anterior.

En cuanto a la dosificación de las mezclas de alto módulo:

Par una mezcla en caliente de alto módulo, el contenido de huecos de la mezcla debe cumplir con un valor comprendido un 4% y un 6%. Este porcentaje debe cumplirse tanto si se trata de la capa intermedia del pavimento bituminoso como de la capa base, así mismo es válido para todas las categorías de tráfico en las que está permitido utilizar mezclas bituminosas de alto módulo.

2.14. El cemento asfáltico

El cemento asfáltico a emplearse debe ser un asfalto duro, con punto de ablandamiento alto. De esta forma se puede tener un valor de penetración en un rango de 10 a 30 décimas de milímetro y un punto de ablandamiento cercano a 70°C. Para obtener ligante duros de destilación directa en algunas ocasiones es necesario modificar el proceso en la refinería. Una alternativa a los asfaltos de destilación usada internacionalmente es la del soplado ligero de una mezcla de asfalto de desasfaltado y extractos aromáticos, con lo cual se obtienen asfaltos duros. (4)

2.15. Aplicación de las mezclas asfálticas de alto módulo

En la construcción de las carreteras la parte más costosa de la estructura es a construcción del firme y dentro de este, las capas a las cuales se le exige mayor durabilidad son los pavimentos, formados por capas de mezclas bituminosas, si estos son flexibles. La estructura formada debe ser capaz de durar un determinado tiempo para el cual fue diseñada, cumpliendo las prestaciones técnicas con el fin de brindar las condiciones funcionales y estructurales que se les exige para un determinado uso, en un determinado lugar, bajo las condiciones ambientales imperantes.

De acuerdo a lo anterior se ha llevado al desarrollo de diferentes programas de investigación que apunten a la idea de pavimentos de larga duración que como mínimo deben estar en el rango de vida útil mayor a 30 años, es decir pavimentos que no presenten deterioros significantes en su estructura lo largo de su vida de servicio. Las mezclas asfálticas de alto modulo se hayan incluidas en este concepto las cuales son utilizadas en zonas donde la temperatura es alta por encima de los 30°C.

2.16. Fibras acrílicas

Introducción

El empleo de fibras en la elaboración de mezclas asfálticas data de los años 70 y la adición de los diferentes tipos de éstas ha venido evolucionando en la misma medida

en que la industria de las fibras lo ha hecho. La adición de fibras ha jugado un papel muy importante en la modificación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, obteniéndose Mezclas Asfálticas Armadas, (MAA), las cuales pueden considerarse como mezclas asfálticas especiales. Dentro del amplio mundo de las fibras existen muchos tipos con características morfológicas y mecánicas diferentes que en función de su origen químico se pueden clasificar en tres grupos principales:

Fibras Minerales: Son rígidas y frágiles a corte, tiene alto módulo y baja flexibilidad, son hidrófobas y entre ellas se encuentran la de amianto, fibra de vidrio y lana de roca.

Fibras Orgánicas: Son semirrígidas en seco, tienen una baja recuperación a las sollicitaciones a tensión, tienen un bajo módulo y flexibilidad media, son biodegradables y absorben mucha agua como las fibras celulósicas.

Fibras Sintéticas: Poseen una buena recuperación a sollicitaciones a tensión, un módulo medio y una alta flexibilidad, son hidrófobas. En este grupo están las fibras acrílicas y las de polipropileno. Las adiciones de fibras sintéticas acrílicas utilizadas están entre un 0.3% y un 0.6% sobre peso del agregado.

2.16.1. Concepto de fibras acrílicas

Las fibras acrílicas son fibras formadas por polímeros lineales cuya cadena está constituida por lo menos de 85% en peso de acrilonitrilo. La mayoría de las fibras acrílicas se fabrican como copolímeros, hasta con el 15% de aditivos que producen una estructura abierta, ser lo cual permite que los tinte sean absorbidos por la fibra mediante un proceso de compatibilidad química entre acrílica y colorante catiónico.

Las fibras acrílicas se fabrican a partir de acrilonitrilo asociado con otros polímeros. Las fibras compuestas por acrilonitrilo tienen una estructura interna orientada y compacta que puede ser del tipo isostática y sindiotáctica; por ello son elaboradas con polímeros, conteniendo aditivos como la sal orgánica de sodio, la cuál otorga una micro textura más abierta permitiendo a los tintes ser absorbido por las fibras.

2.16.2. Composición química

Las fibras acrílicas contienen aditivos como la sal inorgánica de sodio y aceites para evitar estática, que incorporan como agentes de acabado para mejorar el comportamiento de la fibra en el proceso de fabricación.

2.16.3. Propiedades Físicas

Las fibras acrílicas no funden a una temperatura definida y reblandecen a temperaturas entre 200-260°C.

2.16.4. Propiedades mecánicas

La tenacidad de las fibras acrílicas es muy variable a causa de las diferencias en el tipo y proporción de modificante (comonomero), en la tensión impartida y en otras variables del proceso de fabricación. La tenacidad de estas fibras suele oscilar entre 2,8 y 5,5 g/dtex.

Las fibras acrílicas presentan una buena resistencia a la deformación según se deduce su alto modulo inicial, el cual está comprendido entre 45 y 55%g/dtex.

Finalmente se puede señalar que las propiedades de tracción de las fibras acrílicas (tenacidad, esfuerzo de fluencia, modulo inicial, alargamiento a rotura y trabajo de rotura) se conservan bien en condiciones húmedas a temperaturas ambiente.

2.16.5. Influencia de la temperatura

A bajas temperaturas las fibras acrílicas presentan una estructura muy compacta que solo permite oscilaciones de sus átomos. Cuando la temperatura se eleva y se alcanza la de temperatura de transición vítrea, la movilidad en los segmentos de las cadenas del polímero se aumenta y a partir de esta temperatura, la permeabilidad de la estructura

aumenta en función del incremento de la temperatura, permitiendo la difusión de los cationes desde la superficie de la fibra. (6)

2.16.6. Descripción de la fibra acrílica

Los filamentos de fibra son cortados del filamento poliacrilonitrilo, los filamentos se diseñan para el concreto reforzado y pavimento del asfalto, puede combinar sólidamente con los agregados y el cemento asfáltico. Estos filamentos antiácido y álcali, para jugar su eficacia de largo plazo, además de que son fabricadas para los cambios de temperatura y otros factores, para prevenir y para suprimir la formación y el desarrollo de grietas, mejorando grandemente resistencia del concreto, impacto y la impermeabilidad, además de prevenir grietas de la superficie.

Especificaciones:

Tabla N°4 Especificación de la fibra acrílica.

Modelo:	XGPF0706
Color	blanquecino
Forma material	monofilamento
Composición material	el 100% poliacrilonitrilo
Diámetro equivalente (μm)	7
Longitud (milímetro)	12 \pm 1
Gravedad específica (g/cm^3)	1.18
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	>230
Fuerza extensible (MPa)	715~875
Módulo de elástico (GPa)	7.1~16.3
Alargamiento en la rotura (%)	9~15
Características químicas	Resistencia del ácido, álcali

Fuente: Especificaciones técnicas del productor.

2.2. El clima

Los factores climatológicos que afectan a un pavimento son las lluvias y cambios de temperatura.

Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de la construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas.

Los cambios de temperatura en las losas de pavimento rígidos ocasionan en estos esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan en ellas.

En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o la disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

2.3. MARCO NORMATIVO

Caracterización de los materiales asfálticos

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

1. 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.
2. 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.
3. Resistir al envejecimiento frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo.

2.3.1. Ensayos empíricos de consistencia

La caracterización de las propiedades reológicas de los asfaltos, se realizan habitualmente mediante una serie de ensayos empíricos de fácil ejecución .A continuación se expone muy brevemente los más usuales.

2.3.2. Ensayo 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

2.3.3. Ensayo 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).

2.3.4. Ensayo de ductilidad

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cuál 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).

2.3.5. Ensayo de punto de inflamación

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 cuál 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).

2.3.6. Ensayo de 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 expansiona 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.

2.3.7. Método de diseño 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. Marco conceptual

2.4.1. Materiales para hacer la mezcla asfáltica

2.4.2. Agregados 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.

2.4.3. 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.

2.4.4. 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.

2.4.5. Fibras acrílicas

Las fibras acrílicas son compuestos formadas por polímeros lineales cuya cadena está constituida por lo menos de 85% en peso de acrilonitrilo.

2.4.6. Propiedades

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

2.4.7. Fluencia

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

2.4.8. 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. (6)

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 y Hveem. 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 Hveem los resultados del cohesiómetro suplementan los valores de estabilidad. El motivo de que en ambas pruebas, Marshall y Hveem, se hayan hecho una tentativa para presentar la influencia relativa del asfalto y del agregado, es una indicación de tal necesidad. (7)

2.5. Marco histórico

Las mezclas denominadas “de alto módulo”, son mezclas asfálticas que poseen un alto módulo de rigidez, el cual puede resultar 2 a 3 veces superior al de las mezclas convencionales densas. Además, presentan una mayor resistencia a la fatiga y un comportamiento muy superior frente a las deformaciones plásticas.

En el transcurso del tiempo varias universidades realizaron investigaciones con respecto a las mezclas asfálticas de alto módulo en las cuales tenemos:

El convenio de investigación asociación de productores y pavimentadores asfálticos de Colombia (ASOPAC) SHELL Colombia S.A. y la universidad de los Andes.

En campo de la elaboración de mezclas asfálticas con adición de fibras acrílicas el laboratorio de ingeniería de la construcción de la universidad de granada realizo un trabajo respecto a la adhesión de fibras acrílicas a mezclas asfálticas y su respectiva evaluación.

Las mezclas de alto modulo (MAM) han sido utilizadas en firmes de carreteras y aeropuertos, presentado un buen comportamiento mecánico y una adecuada durabilidad debido a la combinación de un esqueleto mineral continuo con un ligante de baja penetración, lo que las dota de una elevada rigidez y capacidad de absorber y disipar las tensiones transmitidas por el tráfico. Este hecho permite reducir la aparición de patologías estructurales dado que se disminuyen los esfuerzos de tracción en la parte inferior de la capa bituminosa, y los esfuerzos de compresión en la zona superficial de la sub-base. Es posible reducir el espesor del firme en torno a 20-23%, lo que lleva a un importante ahorro de ligante y áridos naturales. Además, este incremento de rigidez asociado al uso de la mezcla de alto módulo permite aumentar la resistencia a roderas, proporcionando mayor vida de servicio de la infraestructura.

Sin embargo a pesar no todo son ventajas en las MAM, su elevada rigidez puede suponer un inconveniente pudiendo comprometer su resistencia a la fatiga y fisuración térmica, sobre todo en regiones frías. Así, como principal medida para paliar estos tipos de fallo, las dotaciones de ligante empleadas en la fabricación de las MAM son

relativamente altas (en el entorno del 5,5% sobre mezcla). Sin embargo, cuando las MAM se encuentran expuestas a temperatura de servicio extrema que combinan época de muy baja y alta temperatura, es necesario realizar un diseño específico que garantice una solución de compromiso entre deformabilidad (para resistir los esfuerzos de fatiga y retracciones por baja temperatura sin fisurarse) y rigidez (de una forma que proporcione una adecuada capacidad portante a altas temperaturas, y se evite la aparición de roderas). (8)

Existen artículos de revistas relacionados a la investigación de las fibras acrílicas en mezclas bituminosas. El siguiente artículo pretende evaluar la influencia de la adición de fibras acrílicas en los diferentes tipos de mezclas bituminosas. El estudio realizado conjuntamente por el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España) y FISIFE BARCELONA S.A. (fabricante de fibras acrílicas), trata sobre las mejoras introducidas por las fibras acrílicas en las mezclas bituminosas convencionales y drenantes. En primer lugar, se estudia la influencia de las fibras acrílicas en la reología del mástico de las mezclas convencionales y, posteriormente, el comportamiento de las mezclas a deformaciones plásticas y la evolución a fatiga. Estos dos fenómenos y sus consecuencias, roderas y fisuras, quizás sean dos de los mayores problemas que tenemos hoy en día en las carreteras. Se evalúan las deformaciones plásticas mediante el ensayo en pista de laboratorio, y para determinar la resistencia al agrietamiento por fatiga se ha recurrido al ensayo de fatiga por flexotracción dinámica. Se concluye con un análisis de vida del firme mediante el programa de cálculo BISAR, para evaluar el efecto del empleo de fibra acrílica en la durabilidad de las mezclas. Se pretende evolucionar en el concepto de la utilización de las fibras en las mezclas asfálticas, mostrando que las fibras acrílicas no sólo estabilizan el betún y evitan escurrimiento del mismo, sino que además son capaces de modificar la reología de la mezcla y las propiedades mecánicas de las mismas, especialmente las propiedades referentes a la cohesión. (9)

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

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 cuyo material es procedente de San Mateo, que cumplía con las especificaciones para hacer mezclas de alto módulo que son las siguientes:

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

Selección de agregado pétreo para las mezclas de alto módulo.

Tabla N°5. Faja de trabajo de las Mezclas de alto módulo (MAM). Norma de especificación AASTHO

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No.80	No.200
		% PASA									
Densa	MDC-1		100	80 - 95	67 - 85	60 - 77	43 - 59	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
	MDC-2			100	80 - 95	70 - 88	49 - 65	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
	MDC-3					100	65 - 87	43 - 61	16 - 29	9 - 19	5 - 10
Alto módulo	MAM		100	80 - 95	65 - 80	55 - 70	40 - 55	24 - 38	10 - 20	8 - 14	6 - 9

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

3.1.2. Criterio del uso de las fibras acrílicas:

Las únicas disponibles en el mercado son las fibras acrílicas de marca XIANGU fabricadas en China y comercializadas en el mercado.

3.1.3. Criterio de la variación de porcentaje de las fibras acrílicas:

Según las recomendaciones del fabricante las fibras acrílicas deben estar entre el 0,3%-0,6% del peso total de los agregados. Para la presente investigación se realizará desde el porcentaje recomendado por el fabricante que se tomará el 0,5% a más. Cuyo criterio de diseño es el tiempo disponible y la cantidad de ensayos a poder realizarse.

Criterio de uso de fibras en 0,5%, 1%, 1,5%.-

En la presente investigación se hace variar de 0,5% las fibras acrílicas del peso total de los agregados, debido a que las cantidades de fibras con respecto de la mezcla son homogéneas y se puede obtener un mezclado y compactado óptimo, además de no hallarse demasiado lejos de las proporciones de fibras acrílicas recomendadas por los investigadores que son de 0,3% a 0,6%.

Criterio de uso de fibras en 2%, 4%, 6%.-

Se varía de 2% en 2% debido al tiempo disponible para hacer los ensayos, con este criterio podremos conocer el punto en el cuál las fibras acrílicas dejan de ser ventajosas para la mezcla de alto módulo y empiezan a rigidizar la mezcla.

3.1.4. Criterio de cemento asfáltico:

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

Para la fabricación de mezclas de alto módulo se utiliza el cemento asfáltico MEGAFLEX 20-30 dicho cemento asfáltico con las siguientes condiciones:

- Penetración del ligante asfáltico 20-30. a 25 °C, 100gr, 5s

3.1.5. Criterio para el número de ensayos a realizarse:

Para la presente investigación se desglosara 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 3 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 3 ensayos de equivalente de la arena, de los cuales se sacara 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 3 ensayos del agregado fino y se sacara su promedio.

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

Tabla N°6. Número de ensayos para el agregado.

ENSAYO	CANTIDAD DE ENSAYOS A REALIZAR
Granulometría.	3
Porcentaje de caras fracturadas.	3
Porcentaje de partículas laminadas.	1
Porcentaje de partículas chatas y alargadas.	1
Equivalente de la arena.	3
Abrasión del agregado grueso.	1
Peso específico del agregado fino.	3
Peso específico del agregado grueso.	3

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización del cemento asfáltico:

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

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

Ensayo de punto de inflamación.- Se realizarán 2 ensayos del punto de inflamación del cemento asfáltico 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°7 Número de ensayos para el CA.

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°8. Variaciones del porcentaje de Cemento Asfáltico para obtener el porcentaje óptimo.

Porcentaje de cemento asfáltico(% de CA)	Número de briquetas(Unidad)
4,80%	3
5,30%	3
5,80%	3
6,30%	3
6,80%	3
TOTAL BRIQUETAS ELABORADAS	15

Fuente: Elaboración propia.

Se realizarán 15 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 9 briquetas con mezclas asfálticas convencionales, cuyo cemento asfáltico será 85-100 estas briquetas representarán el patrón, con lo cuál procederemos a comparar y evaluar estadísticamente como ondulan y varían las propiedades de fluencia y estabilidad de los ensayos analizados.

Mezclas asfálticas de alto módulo con adición de fibras acrílicas.- Se elaborarán 3 briquetas de mezclas asfálticas de alto módulo con adición de fibras acrílicas, cuyos porcentajes a variar serán 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 4% y 6% fabricando 3 briquetas por cada porcentaje de fibras acrílicas.

Mezclas asfálticas de alto módulo.- Se fabricarán 3 briquetas con mezclas de alto módulo para comparar como fluctúan estadísticamente los valores.

Detalle de la comparación y ensayos a realizar:

Tabla N°9. Total de briquetas fabricadas para la evaluación de las fibras acrílicas.

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD(UNIDAD)
	Mezclas convencionales	9
	MEZCLA DE ALTO MÓDULO	3
MEZCLA DE ALTO MÓDULO CON ADICIÓN DE FIBRAS ACRÍLICAS	0,50%	3
	1%	3
	1,50%	3
	2%	3
	4%	3
	6%	3
TOTAL		30
BRIQUETAS ELABORADAS PARA HALLAR EL PORCENTAJE ÓPTIMO		15
TOTAL BRIQUETAS ELABORADAS PARA LOS ENSAYOS		45

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Muestra

La muestra es la Cantidad de Fibras acrílicas de naturaleza sintética adicionadas a las mezclas asfálticas de alto módulo utilizando agregados que son obtenidos de la planta asfaltadora de la alcaldía perteneciente a la ciudad Tarija, dicha planta se encuentra ubicada en la comunidad de la Pintada, cuyos agregados son procedentes de San Mateo. Dicho agregado debe contener la mayor parte del peso retenido en el tamiz de 3/4 debido a que las exigencias de la faja de trabajo de las mezclas de alto módulo 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 cantidad de fibras acrílicas en las mezclas de alto módulo elaboradas con materiales de la región, y comparándolos con la mezcla convencional que se utiliza en la ciudad de Tarija, que de igual manera se fabricara con los mismos material a utilizar en las mezclas de alto módulo.

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 Evaluación del comportamiento mecánico - resistente de las fibras acrílicas en las mezclas asfálticas de alto módulo, son provenientes de la planta de asfalto propiedad de la Alcaldía Municipal de Tarija ubicada en la comunidad de La Pintada. Se verificara 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 la ficha técnica se adjunta en el siguiente cuadro:

Tabla N°10. Especificación técnica del cemento asfáltico BETUNEL

N°	CARACTERÍSTICAS	DETALLE			EXIGENCIAS 85-100
		AASTHO	ASTM	NCh	

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 SAYBOL 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.

Cemento asfáltico 20-30.- Para las mezclas asfálticas de alto módulo se tiene que utilizar un cemento asfáltico de mayor dureza que cumpla el requisito de tener una penetración de 20-30 para lo cual se procedió a comprar el cemento asfáltico MEGAFLEX proveniente de la ciudad de Argentina, en el cuadro de abajo se muestran sus especificaciones técnicas.

Tabla N°11. Especificación técnica del cemento asfáltico MEGAFLEX.

ESPECIFICACIONES			
ENSAYOS			

PENETRACIÓN 25°C /100 GR /5 SEG	0,1 mm	6576	20-30
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	°C	6841	90- 115
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	6555	>260

Fuente: Especificación técnica del fabricante.

Fibras acrílicas.- Las fibras acrílicas que serán utilizadas para la presente investigación son de naturaleza sintética, este producto es fabricado en la república popular de China por la marca XIANGU cuyas especificaciones técnicas se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla N°12. Especificación de la fibra acrílica

Modelo:	XGPF0706
Color	blanquesino
Forma material	monofilamento
Composición material	el 100% poliacrilonitrilo
Diámetro equivalente (µm)	7
Longitud (milímetro)	12±1
Gravedad específica (g/cm ³)	1.18
Punto de fusión (°C)	>230
Fuerza extensible (MPa)	715~875
Módulo de elástico (GPa)	7.1~16.3
Alargamiento en la rotura (%)	9~15
Características químicas	Resistencia del ácido

Fuente: Ficha 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)

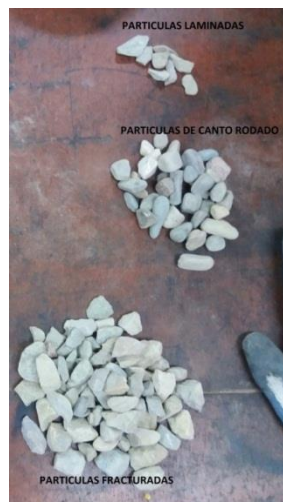
Definición.- Este método permite determinar el porcentaje, en peso de una muestra de agregado grueso con una, dos o más caras fracturadas.

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°13. Datos del ensayo de caras fracturadas.

ENSAYO GRAVILLA DE 3/8	Lecturas		
Ensayo n°	1	2	3
Peso total (gr.) (a)	1000	1100	950
Peso retenido tamiz n° 8 (gr.) (b)	854	945,7	812
Caras no fracturadas (gr.) (a-b)	146	154,3	138
Número de ensayos realizados	3		
ENSAYO GRAVA DE 3/4	Lecturas		
Ensayo n°	1	2	3
Peso total (gr.) (a)	1095	960	945
Peso retenido tamiz n° 8 (gr.) (b)	980,8	919,7	899,9
Caras no fracturadas (gr.) (a-b)	114,2	40,3	45,1
Número de ensayos realizados	3		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos: (GRAVA DE 3/8)

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

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

$$\% \text{ de caras fracturadas} = \frac{870,6 \text{ gr.}}{1016,7 \text{ gr.}} * 100$$

$$\% \text{ de caras fracturadas} = 86\%$$

(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°14. Datos del ensayo de caras laminadas (3/4).

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Laminares (gr)	% Retenido Partículas Laminares
Agregado de 3/4"	1200		
Peso Total de la Muestra	1200	15	1,25
Número de ensayos realizados	1		

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

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

$$\% \text{ de part. laminadas} = \frac{15 \text{ gr}}{1200 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de part. laminadas} = 1,25\%$$

Agregado de 3/8

Tabla N°15. Datos del ensayo de caras laminadas (3/8).

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Laminares (gr)	% Retenido Partículas Laminares
Agregado de 3/8"	1200		
Peso Total de la Muestra	1200	150	12,5
Número de ensayos realizados	1		

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

$$\% \text{ de part. laminadas} = \frac{150 \text{ gr}}{1200 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de part. laminadas} = 12,5\%$$

Porcentaje de partículas chatas y alargadas:

Agregado de 3/4

Tabla N°16. Datos del ensayo de partículas chatas (3/4).

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas chatas y alargadas	% Retenido Partículas chatas y alargadas
Agregado de 3/4"	1200		
Peso Total de la Muestra	1200	20	1,67
Número de ensayos realizados	1		

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

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

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = \frac{20 \text{ gr}}{1200 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = 1,67\%$$

Agregado de 3/8

Tabla N°17. Datos del ensayo de partículas chatas (3/8).

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas chatas y alargadas	% Retenido Partículas chatas y alargadas
Agregado de 3/8"	1200		
Peso Total de la Muestra	1200	90,5	7,54
Número de ensayos realizados	1		

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

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

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = \frac{90,5 \text{ gr}}{1200 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = 7,54\%$$

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 min ± 15s. 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°18. Datos del ensayo de equivalente de arena.

ENSAYO	Lecturas		
Ensayo n°	1	2	3
Lectura nivel superior	23,8	24,1	23,8
Lectura nivel inferior	12,4	12,5	12,7
Número de ensayos realizados	3		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{12,5}{23,9} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 52,4\%$$

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 realizara 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 ¾

Tabla N°19. Datos del ensayo de desgaste de los Ángeles (¾).

Pasado	Retenido	Cantidad tomada(gr)
¾	1/2	2500
1/2	3/8	2500
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)		3605
Diferencia		1395
Número de ensayos realizados		1

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1395\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 27,9 \%$$

Desgaste del agregado de 3/8

Tabla N°20. Datos del ensayo de desgaste de los Ángeles (3/8).

Pasado	Retenido	Cantidad tomada(gr)
3/4	1/2	2500
1/2	3/8	2500
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)		3706
Diferencia		1294
Número de ensayos realizados		1

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1294\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 25,88 \%$$

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°21. Datos del ensayo de peso específico de la arena.

Descripción	Unidad	Arena Triturada	Arena Triturada	Arena Triturada
Peso Frasco Seco Vacío (u)	gr.	0	0	0
Peso Frasco +Muestra(f)	gr.	311,9	311	311,2
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x=f-u)	gr.	500	500	500
Peso Muestra Seca (a)	gr.	490,5	491,1	490,8
Peso Agua (t)	gr.	826,6	826,6	826,6
Peso Muestra + Agua (b)	gr.	1138,5	1137,6	1137,8
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

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

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{\text{Peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. sat. sup seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso esp. del agre. seco} = \frac{490,8 \text{ gr}}{((500 \text{ gr} + 826,6\text{gr}) - 1137,467)}$$

$$\text{Peso esp. del agre. seco} = 2,6 \text{ gr/cm}^3$$

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

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

$$\text{Peso espec. satur. superficie seco} = \frac{500 \text{ gr}}{((500 \text{ gr} + 826,6 \text{ gr}) - 1138,5 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso espec. satur. superficie seco} = 2,65 \text{ gr/cm}^3$$

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

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{490,5 \text{ gr}}{((490,5 \text{ gr} + 826,6 \text{ gr}) - 1138,5 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,746 \text{ gr/cm}^3$$

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°22. Datos del ensayo de peso específico del agregado grueso.

Descripción	Unidad	Grava 3/4"	Gravilla 3/8"
Peso Muestra Saturada de Superf. Seca (e)	gr.	2069	1740
Peso Material Seco (f)	gr.	2043	1720
Peso Muestra + Cesto suspendido en Agua	gr.	1276	1069
Peso del Cesto suspendido en Agua	gr.	0	0
Peso Muestra suspendida Agua (g)	gr.	1276	1069
Numero de ensayos realizados		2	

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Grava de 3/4

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = \frac{\text{Peso muestra seca}}{(\text{Peso Muestra Saturada de Superf. Seca} - \text{Peso Muestra suspendida Agua})}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = \frac{2043\text{gr}}{((2069\text{gr}) - 1276\text{gr})}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = 2,576 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P. E. A. Saturado de Superficie Seca} = \frac{\text{Peso Muestra Saturada de Superf. Seca}}{(\text{Peso Muestra Saturada de Superf. Seca} - \text{Peso Muestra suspendida Agua})}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = \frac{2069\text{gr}}{((2069\text{gr}) - 1276\text{gr})}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = 2,609 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{\text{Peso Material Seco}}{(\text{Peso Material Seco} - \text{Peso Muestra suspendida Agua})}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = \frac{2043\text{gr}}{((2043\text{gr}) - 1276\text{gr})}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = 2,664 \text{ gr/cm}^3$$

El mismo procedimiento de cálculo se realiza para la grava de 3/8:

Resumen de los resultados:

Tabla N°23. Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso.

Peso Específico del Agregado Seco	grs./cm ³	2,563
P.E.A. Saturado de Superficie Seca	grs./cm ³	2,593
Peso Específico Aparente	grs./cm ³	2,642
% de Absorción	%	1,163

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°24. 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
84	30,51	28,63	1,88	15,79	12,84	14,64	8
Número de ensayos realizados			1				

Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla N°25. Resultados del ensayo de límite líquido de la arena.

Límite Líquido	12,8		Límite Plástico	N.P .	Índice de plasticidad	0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
	AASHTO	A - 1a (0)						
Coefficiente de uniformidad	47,5	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°26. Resultados y comparaciones del agregado con norma ASTM.

ENSAYOS	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	NORMA
	Mínimo	Máximo		
% de caras Fracturadas en grueso 3/4"	75	-	93,35	ASTM D 5821-95
% de caras Fracturadas en grueso 3/8"	75	-	86	ASTM D 5821-95
% de partículas laminadas grueso 3/4"	-	15	1,25	ASTM D-4791
% de partículas laminadas grueso 3/8"	-	15	12,5	ASTM D-4791
% de partículas chatas y alargadas 3/4"	-	-	1,67	ASTM D-4791
% de partículas chatas y alargadas 3/8"	-	-	7,54	ASTM D-4791
Equivalente de la arena (%)	50	-	52,4	ASTM D-2419
Abrasión de gruesos 3/4 (%)	-	40	27,9	ASTM C-131
Abrasión de gruesos 3/8 (%)	-	40	25,88	ASTM C-131
Peso específico de finos (Tn/m ³)	-		2,608	ASTM D-128
Peso específico de agregado grueso 3/4 (Tn/m ³)	-		2,576	ASTM D-127
Peso específico de agregado grueso 3/8 (Tn/m ³)	-		2,563	ASTM D-127
Absorción de agregado Fino (%)	-		1,9	ASTM D-128
Absorción de agregado grueso 3/4 (%)	-		1,273	ASTM D-127
Absorción de agregado grueso 3/8 (%)	-		1,163	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°27. 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°28. Datos del ensayo de penetración.

ENSAYO		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm)	Lectura N°1	mm.	90	90	90
	Lectura N°2	mm.	89	93	91
	Lectura N°3	mm.	89	90	90
Número de ensayos realizados		3			

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: 89,3 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°29. 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°30. Datos del ensayo de punto de inflamación.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	256	258	257
Número de ensayos realizados	3			

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°31. 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 =

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

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

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

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

Resultado:

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

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 AASTHO y del distribuidor, valores se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla N°32. 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	90,22	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)	1	1,05	1,016	ASTM D-70

Fuente: Elaboración propia.

4. MEZCLA ASFÁLTICA:

4.1. 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 4425 gramos, que colocamos sobre la torre de tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°10, 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 1151,8 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°33. Granulometría del Agregado de 3/4.

N°	Origen	Granulometría												
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	GRANULOMETRIA 1	100	100	100	95,1	19,2	3,3	0,5	0,3	0	0,3	0,3	0,2	0,3
2	GRANULOMETRIA 2	100	100	100	94,2	21,2	2,8	0,2	0,4	0	0,3	0,3	0,2	0,2
3	GRANULOMETRIA 3	100	100	100	93,1	22,1	2,7	0,3	0,3	0	0,3	0,3	0,3	0,3
Número de Granulometrías realizadas		= 3												
RESUMEN DE DATOS														
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100	100	100	94,1	20,8	2,9	0,3	0,3	0	0,3	0,3	0,2	0,3
Dato Máximo		100	100	100	95,1	22,1	3,3	0,5	0,4	0	0,3	0,3	0,3	0,3
Dato Mínimo		100	100	100	93,1	19,2	2,7	0,2	0,3	0	0,3	0,3	0,2	0,2
Desviación Estándar		0	0	0	1	1,5	0,3	0,2	0,1	0	0	0	0,1	0,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°34. Granulometría del Agregado de 3/8.

N°	Origen	Granulometría												
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	GRANULOMETRIA 1	100	100	100	100	100	99,1	13,2	0,2	0	0,2	0,2	0,2	0,2
2	GRANULOMETRIA 2	100	100	100	100	100	99,6	13,4	0,2	0	0,2	0,3	0,2	0,2
3	GRANULOMETRIA 3	100	100	100	100	100	98,3	13,5	0,3	0	0,2	0,2	0,2	0,2
Número de Granulometrías realizadas		= 3												
RESUMEN DE DATOS														
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100	100	100	100	100	99	13,4	0,2	0	0,2	0,2	0,2	0,2
Dato Máximo		100	100	100	100	100	99,6	13,5	0,3	0	0,2	0,3	0,2	0,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°35. Granulometría de la Arena triturada.

N°	Origen	Granulometría												
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	GRANULOMETRIA 1	100	100	100	100	100	100	97,1	79,6	0	65,7	40,2	23,6	7,2
2	GRANULOMETRIA 2	100	100	100	100	100	100	95,4	77,9	0	64,3	41,3	21,3	7,1
3	GRANULOMETRIA 3	100	100	100	100	100	100	95,3	78,9	0	67,1	45,5	22,5	8,1
Número de Granulometrías realizadas		= 3												
RESUMEN DE DATOS														
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100	100	100	100	100	100	95,9	78,8	0	65,7	42,3	22,5	7,5
Dato Máximo		100	100	100	100	100	100	97,1	79,6	0	67,1	45,5	23,6	8,1
Dato Mínimo		100	100	100	100	100	100	95,3	77,9	0	64,3	40,2	21,3	7,1
Desviación Estándar		0	0	0	0	0	0	1	0,9	0	1,4	2,8	1,2	0,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°36. Granulometría del Filler o llenante mineral.

N°	Origen	Granulometría												
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	GRANULOMETRIA 1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	84,3
2	GRANULOMETRIA 2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,5	83,4
3	GRANULOMETRIA 3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,6	83,1
Número de Granulometrías realizadas		= 3												
RESUMEN DE DATOS														
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,7	83,6
Dato Máximo		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	84,3
Dato Mínimo		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,5	83,1
Desviación Estándar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,6

Fuente: Elaboración propia.

4.2. 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", 33% de grava de 3/8", 45% de agregado fino y 2% de filler 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.

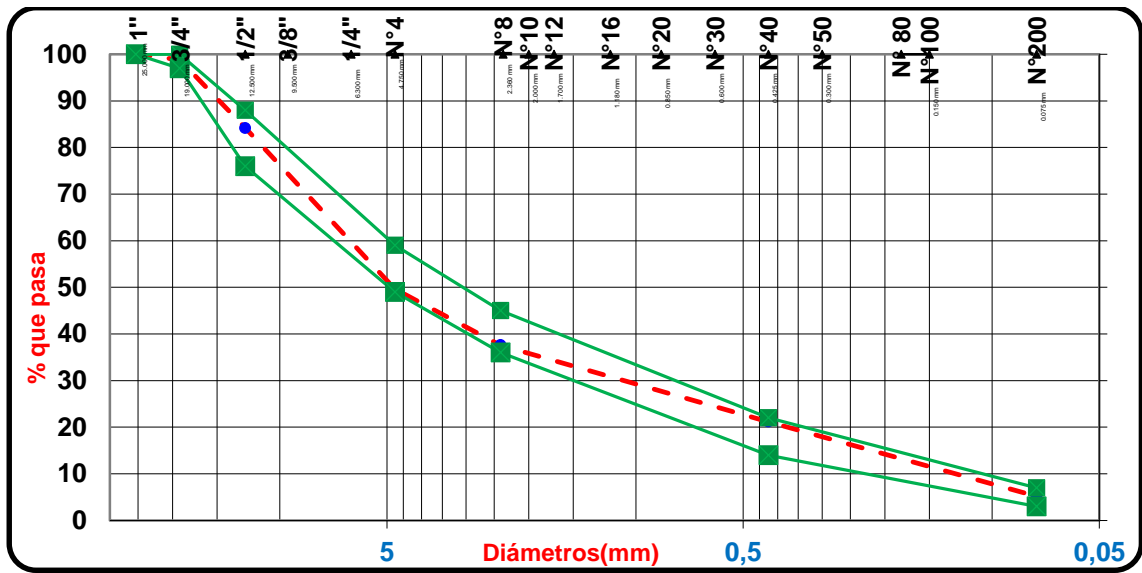
DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PLANILLA DE GRANULOMETRÍA PROYECTADA

Tabla N°37. Dosificación para obtener el porcentaje óptimo de Cemento asfáltico.

AGREGADO		GRAVA TRIT. 3/4"		GRAVA TRIT. 3/8"		ARENA TRIT.		AREN FILLER		% QU E PA SA	TOL ERAN CIAS (+/-)	FAJA		
% USADO		20%		33%		45%		2%				ESPECIF. GRAD. MEDIA	INF.	SU P.
PU LG	m m.	% TOT AL	% EN C.	% TOT AL	% EN C.	% TOT AL	% EN C.	% TOT AL	% EN C.					
		100		100		100		100		100				
1"	25,4	100	20	100	33	100	45	100	2	100	0%	100	100	
3/4"	19,1	94,1	18,8	100	33	100	45	100	2	98,8	7%	97	100	
1/2"	12,5	20,8	4,2	100	33	100	45	100	2	84,2		76	88	
3/8"	9,5	2,9	0,6	99	32,7	100	45	100	2	80,3	7%			
#4	4,75	0,3	0,1	13,4	4,4	95,9	43,2	100	2	49,6	7%	49	59	
#8	2,36	0,3	0,1	0,2	0,1	78,8	35,5	100	2	37,6	5%	36	45	
#16	1,18	0,3	0,1	0,2	0,1	65,7	29,6	100	2	31,7				
#40	0,425	0,3	0,1	0,2	0,1	42,3	19	100	2	21,2	3%	14	22	
#80	0,18	0,3	0,1	0,2	0,1	22,5	10,1	99,7	2	12,2	2%			
#200	0,075	0,3	0,1	0,2	0,1	7,5	3,4	83,6	1,7	5,2	2%	3	7	

Fuente: Elaboración propia.

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



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

4.3.1. 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 15 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 él % que retiene el tamiz 3/4" está entre 11% y 15%.

0,18 si él % 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 $\frac{3}{4}$ " es menor 5%

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

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

$$\%A = 0,035(49,6)+0,045(37,6)+ (0.2)*(5,2)+ (1,627) \Rightarrow \%A = 6,095 \%$$

Los porcentajes de asfalto para los que se trabajaran en las diferentes briquetas son los siguientes: 4,8%, 5,3%, 5,8%, 6,3%, 6,8%.

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 5 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 4,8%

Tabla N°38. Dosificación con cemento asfáltico de 4,8%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4,80%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100	0	0	0	0
1"	100	0	0	0	0
3/4"	98,8	1,2	1,2	13,5	13,5
1/2"	84,2	15,8	14,7	167,5	181
3/8"	80,3	19,8	3,9	44,7	225,6
N°4	49,6	50,4	30,6	349,7	575,3
N°8	37,6	62,4	12,1	137,7	713
N°40	21,2	78,8	16,4	187,6	900,7
N°80	12,2	87,8	8,9	101,9	1002,5
N°200	5,2	94,8	7,1	80,8	1083,3
Filler	0	100	5,2	59,1	1142,4
Peso Total=				1142,4	
Número de briquetas a realizar con esta dosificación					3

Fuente: Elaboración propia.

Peso Muestra=	1142,4 gr.
Peso Asfalto=	57,6 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

2. Porcentaje de cemento asfáltico 5,3%

Tabla N°39. Dosificación con cemento asfáltico de 5,3%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,30%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 ½"	100	0	0	0	0
1"	100	0	0	0	0
¾"	98,8	1,2	1,2	13,4	13,4
½"	84,2	15,8	14,7	166,6	180
3/8"	80,3	19,8	3,9	44,4	224,4
N°4	49,6	50,4	30,6	347,9	572,3
N°8	37,6	62,4	12,1	136,9	709,3
N°40	21,2	78,8	16,4	186,7	895,9
N°80	12,2	87,8	8,9	101,3	997,2
N°200	5,2	94,8	7,1	80,4	1077,6
Filler	0	100	5,2	58,8	1136,4
Peso Total=				1136,4	
número de briquetas a realizar con esta dosificación					3

Fuente: Elaboración propia.

Peso Muestra=	1136,4 gr.
Peso Asfalto=	63,6 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

3. Porcentaje de cemento asfáltico 5,8%.

Tabla N°40. Dosificación con cemento asfáltico de 5,8%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,80%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100	0	0	0	0
1"	100	0	0	0	0
3/4"	98,8	1,2	1,2	13,3	13,3
1/2"	84,2	15,8	14,7	165,7	179,1
3/8"	80,3	19,8	3,9	44,2	223,3
N°4	49,6	50,4	30,6	346	569,3
N°8	37,6	62,4	12,1	136,2	705,5
N°40	21,2	78,8	16,4	185,7	891,2
N°80	12,2	87,8	8,9	100,8	992
N°200	5,2	94,8	7,1	79,9	1071,9
Filler	0	100	5,2	58,5	1130,4
Peso Total=				1130,4	
Número de briquetas a realizar con esta dosificación					3

Fuente: Elaboración propia.

Peso Muestra=	1130,4 gr.
Peso Asfalto=	69,6 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

4. Porcentaje de cemento asfáltico 6,3%

Tabla N°41. Dosificación con cemento asfáltico de 6,3%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,30%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100	0	0	0	0
1"	100	0	0	0	0
3/4"	98,8	1,2	1,2	13,3	13,3
1/2"	84,2	15,8	14,7	164,8	178,1
3/8"	80,3	19,8	3,9	44	222,1
N°4	49,6	50,4	30,6	344,2	566,3
N°8	37,6	62,4	12,1	135,5	701,8
N°40	21,2	78,8	16,4	184,7	886,5
N°80	12,2	87,8	8,9	100,3	986,7
N°200	5,2	94,8	7,1	79,5	1066,2
Filler	0	100	5,2	58,2	1124,4
Peso Total=				1124,4	
Número de briquetas a realizar con esta dosificación					3

Fuente: Elaboración propia.

Peso Muestra=	1124,4 gr.
Peso Asfalto=	75,6 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

5. Porcentaje de cemento asfáltico 6,8%.

Tabla N°42. Dosificación con cemento asfáltico de 6,8%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,80%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100	0	0	0	0
1"	100	0	0	0	0
3/4"	98,8	1,2	1,2	13,2	13,2
1/2"	84,2	15,8	14,7	164	177,2
3/8"	80,3	19,8	3,9	43,7	220,9
N°4	49,6	50,4	30,6	342,4	563,3
N°8	37,6	62,4	12,1	134,8	698
N°40	21,2	78,8	16,4	183,7	881,7
N°80	12,2	87,8	8,9	99,7	981,5
N°200	5,2	94,8	7,1	79,1	1060,5
Filler	0	100	5,2	57,9	1118,4
Peso Total=				1118,4	
Número de briquetas a realizar con esta dosificación					3

Fuente: Elaboración propia.

Peso Muestra=	1118,4 gr.
Peso Asfalto=	81,6 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.

4.3.2. 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°43. 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.

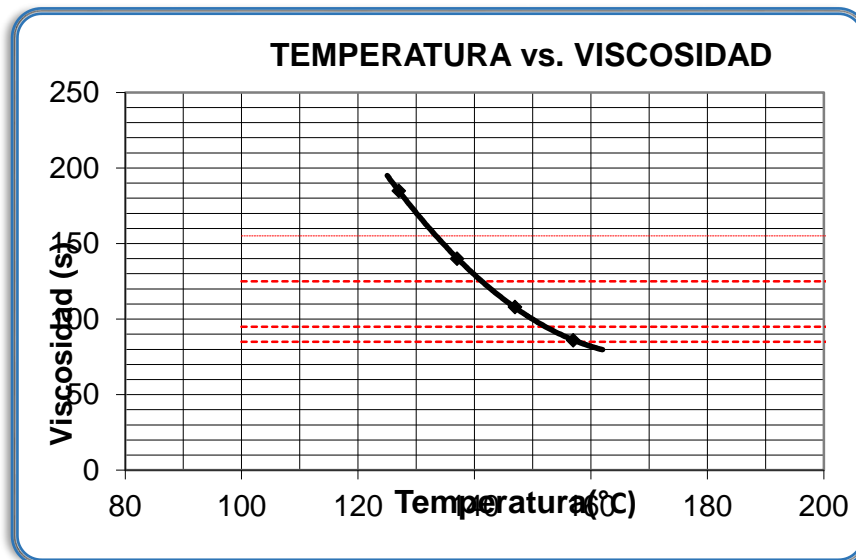
a).- Aplicación.- Específica: Viscosidad 85 - 95 Saybolt Furol

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 podrá 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.

4.4. 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.
- Termómetro
- 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 limpian 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 175 a 190 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 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 107°C ni 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 briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

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



Figura N°17. Briquetas desmoldadas.



4.5. 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 realizara un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 4,8%

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 4,8% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Identificación	Altura Briqueta (cm)
1	6,59
2	6,56
3	6,59

c) Porcentaje de asfalto :

1c) Base de agregado:

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

$$Base\ de\ agregado = \frac{4,8 * 100}{100 - 4,8}$$

$$Base\ de\ agregado = 5,04$$

2c) Base de la mezcla:

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4,8%.

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	1190
2	1190,9
3	1190,5

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	1196,5
2	1195,2
3	1195,9

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	672,5
2	669,8
3	671,3

g) Volumen de la briqueta:

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

$$Vol. de briq. = 1196,5 \text{ gr} - 672,5 \text{ gr}$$

$$Vol. de briq. = 524 \text{ gr.}$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

h) Densidad de la briqueta:

1h) Densidad real de la briqueta:

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

$$D real = \frac{1190 \text{ gr}}{524 \text{ cm}^3}$$

$$D real = 2,271 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

2h) Densidad máxima teórica de la briqueta:

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

$$D_{max t} = \left(\frac{4,8}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right)^{100} + \left(\frac{100 - 4,8}{2,663 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$D_{max t} = 2,470 \text{ gr/cm}^3$$

i) Porcentaje de vacíos:

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

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

$$Vv = \left(\frac{2,470 \text{ gr/cm}^3 - 2,269 \text{ gr/cm}^3}{2,470 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$Vv = 8,15\%$$

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

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

$$VAM = \left(\frac{4,8 * 2,287 \text{ gr/cm}^3}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right) + 8,15\%$$

$$VAM = 18,87\%$$

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

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

$$RBV = \left(\frac{18,87 - 8,15}{18,87} \right) * 100$$

$$RBV = 56,8\%$$

j) Estabilidad y fluencia:

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

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad (Kg)	Fluencia 1/100
1	150	180
2	140	160
3	157	190

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

Estabilidad

$$= \left(\frac{0,000004(lect. dial)^3 - 0,0038(lect. dial)^2 + 5,55(lect. dial) + 11,768}{0,4536} \right)$$

Estabilidad corregida para C1:

$$= \left(\frac{0,000004(150)^3 - 0,0038(150)^2 + 5,55(150) + 11,768}{0,4536} \right)$$

$$Estabilidad = 1702,5 Lb$$

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

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad (Kg)	REAL(Lb)
1	150	1702,5
2	140	1598,9
3	157	1774,5

Sacando la media:

$$Estabilidad_{media} = \frac{C1 + C2 + C3 + C4 + C5}{3}$$

$$Estabilidad_{media} = \frac{1702,5Lb + 1598,9Lb + 1774,5Lb}{3}$$

$$Estabilidad_{media} = 1692 \text{ Lb}$$

Factor de corrección de la altura (mm).- El factor de corrección de la altura de la briqueta se lo realiza con la tabla de correcciones que se halla en los anexos.

Identificación	factor de corrección (altura)
1	0,945
2	0,951
3	0,945

$$Factor_{media} = \frac{0,945 + 0,951 + 0,945}{3}$$

$$Factor_{media} = 0,947$$

Estabilidad corregida para cada probeta.

$$\text{Estabilidad corregida} = 1692\text{Lb} * 0,947$$

$$\text{Estabilidad corregida} = 1602,3 \text{ Lb}$$

- Flujo corregido para 1:

$$\text{Flujo corregido} = \frac{180}{25,4}$$

$$\text{Flujo corregido} = 7,1$$

Resumen de la corrección de la fluencia:

Identificación	Fluencia corregida 1/100
1	7,1
2	6,3
3	7,5

$$\text{Fluencia media} = \frac{7,1 + 6,3 + 7,5}{3}$$

$$\text{Fluencia media} = 6,96$$

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	1702,5	7,1
2	1598,9	6,3
3	1774,5	7,5

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).

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.

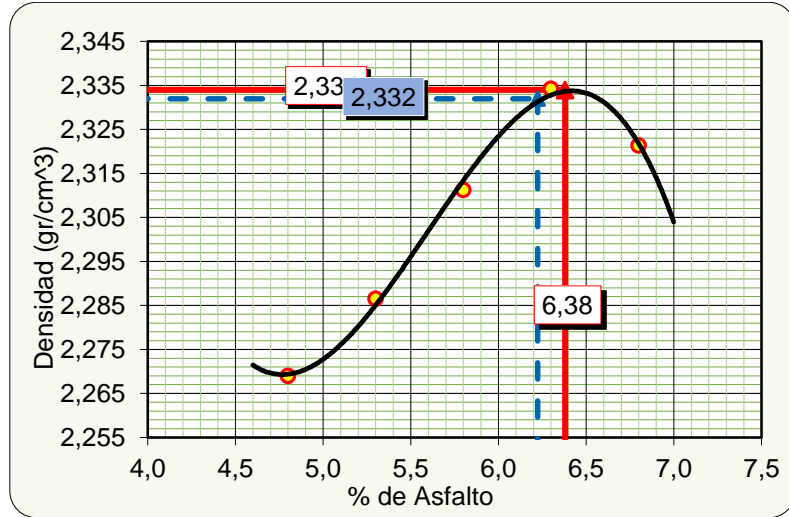


Figura N°21. Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.

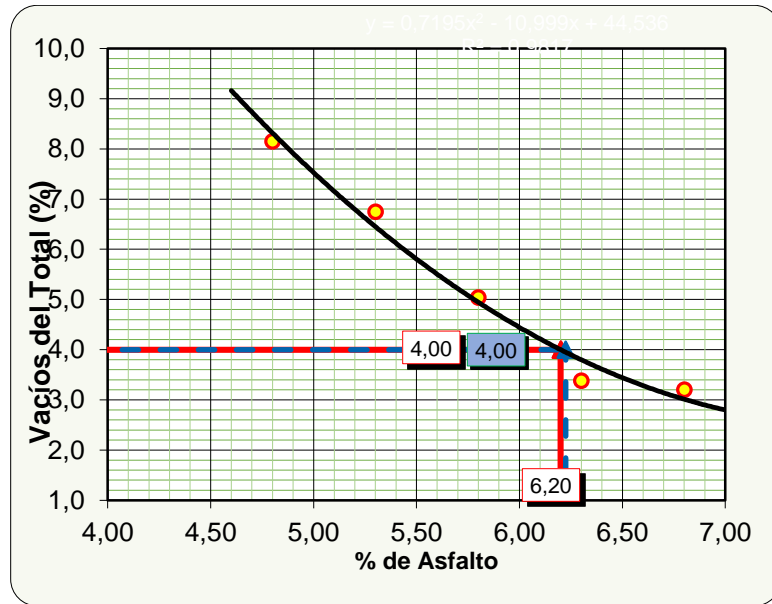


Figura N°22. Porcentaje de Asfalto vs. Vacíos de agregado mineral (VAM)

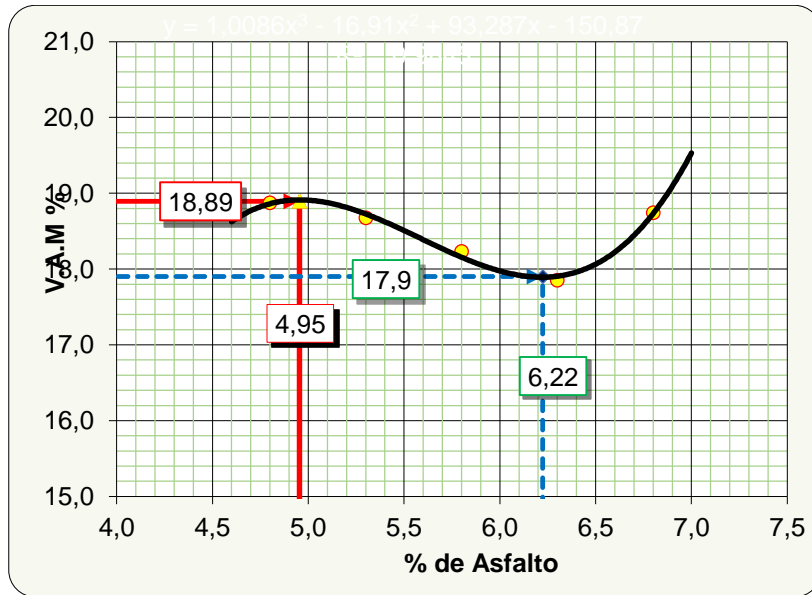


Figura N°23. Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV).

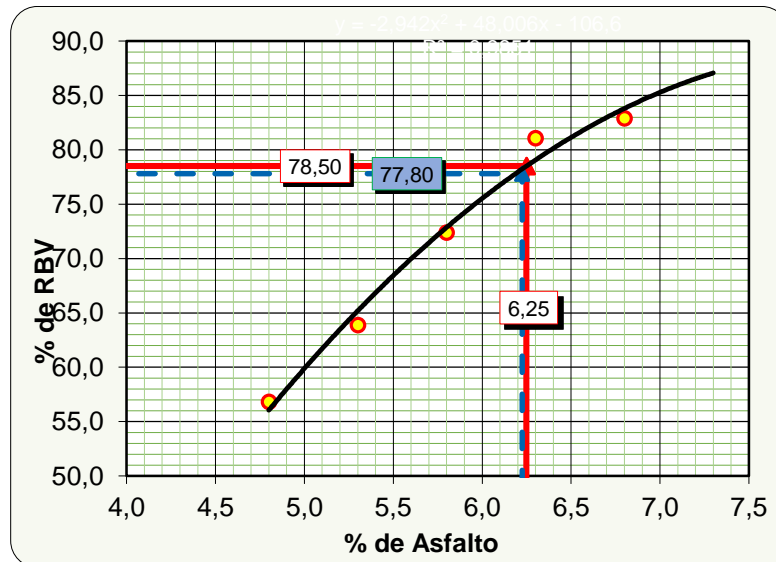


Figura N°24. Porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad corregida.

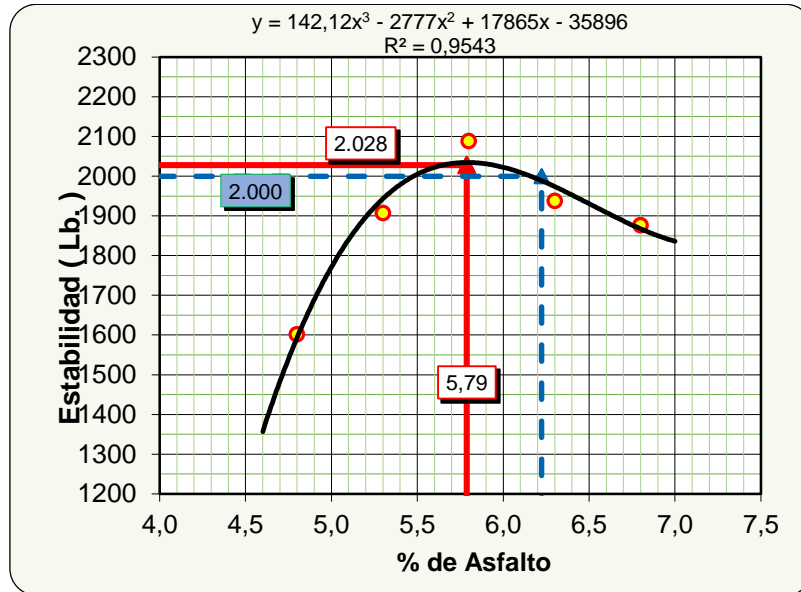


Figura N°25. Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).

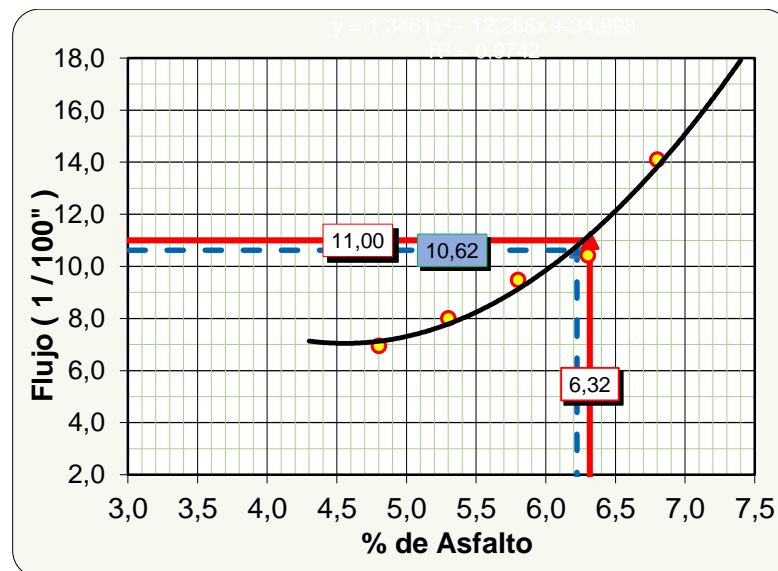


Tabla N°44. Resultados del ensayo MARSHALL.

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	6,38	2,334	-----	-----
% VACIOS	6,2	4	3	5
V.A.M.	4,95	18,9	15	
R.B.V.	6,25	78,5	75	82
ESTABILIDAD (Lb)	5,79	2028,2	> 1800 Lb.(75Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	6,32	11	8	14
Cont. Asf. (%)	6,22	Determinación del contenido óptimo de Asfalto. Tomando en cuenta Criterio de Vacíos Mezcla y R.B.V.		

Fuente: Criterios de la normativa AASTHO.

Tabla N°45. Resultados del ensayo MARSHALL.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	6,22	2,332	-----	-----
% VACIOS	6,22	4	3	5
V.A.M.	6,22	17,9	15	
R.B.V.	6,22	77,8	75	82
ESTABILIDAD (Lb)	6,22	2000	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	6,22	10,62	8	14
% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			6,22	

Fuente: Criterios de la normativa AASTHO.

El porcentaje óptimo de asfalto es de 6,22% que será utilizado para la realización de las mezclas convencionales, mezclas de alto módulo con adición de fibras acrílicas y las mezclas de alto módulo.

4.6. Preparación de briquetas con mezcla convencional:

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 6,22% 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°46. Planilla de dosificación para la elaboración de mezclas convencionales con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,22 % C.A.	
				P. Parcial (gr)	P. Acumulado(gr)
1 1/2"	100	0	0	0	0
1"	100	0	0	0	0
3/4"	98,8	1,2	1,2	13,3	13,3
1/2"	84,2	15,8	14,7	165	178,3
3/8"	80,3	19,8	3,9	44	222,3
N°4	49,6	50,4	30,6	344,5	566,8
N°8	37,6	62,4	12,1	135,6	702,4
N°40	21,2	78,8	16,4	184,8	887,2
N°80	12,2	87,8	8,9	100,3	987,6
N°200	5,2	94,8	7,1	79,6	1067,1
Filler	0	100	5,2	58,2	1125,4
		Peso Total=		1125,4	
Número de briquetas a realizar con esta dosificación					9

Fuente: Elaboración propia.

Peso Muestra= 1125,4 gr
Peso Asfalto= 74,6 gr
Peso Total Material + C.
Asf.= 1200 gr

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



4.7. Mezclas de alto módulo con adición de fibras acrílicas:

4.7.1. Descripción del ensayo.- Se utilizara el porcentaje de cemento asfáltico 6,22% para la fabricación de la mezcla asfáltica de alto módulo.

Granulometrías proyectadas: Se realizó 3 nuevas granulometrías siguiendo una diferente faja de trabajo para realizar las mezclas de alto módulo (MAM).

Tabla N°47. Granulometría del Agregado de 3/4.

N°	Origen	Granulometría												
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	GRANULOMETRIA 1	100	100	100	78,5	21,6	2,9	0,3	0	0	0	0	0	0
2	GRANULOMETRIA 2	100	100	100	79,4	19,9	2,6	0,3	0	0	0	0	0	0
3	GRANULOMETRIA 3	100	100	100	77,6	20,9	3,2	0,2	0	0	0	0	0	0
Número de Granulometrías realizadas		= 3												
RESUMEN DE DATOS														
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100	100	100	78,5	20,8	2,9	0,3	0	0	0	0	0	0
Dato Máximo		100	100	100	79,4	21,6	3,2	0,3	0	0	0	0	0	0
Dato Mínimo		100	100	100	77,6	19,9	2,6	0,2	0	0	0	0	0	0
Desviación Estándar		0	0	0	0,9	0,9	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°48. Granulometría del Agregado de 3/8.

N°	Origen	Granulometría												
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	GRANULOMETRIA 1	100	100	100	100	100	98,6	12,8	0	0	0	0	0	0
2	GRANULOMETRIA 2	100	100	100	100	100	99,1	12,3	0	0	0	0	0	0
3	GRANULOMETRIA 3	100	100	100	100	100	99,3	13,5	0	0	0	0	0	0
Número de Granulometrías realizadas		= 3												
RESUMEN DE DATOS														
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100	100	100	100	100	99	12,9	0	0	0	0	0	0
Dato Máximo		100	100	100	100	100	99,3	13,5	0	0	0	0	0	0
Dato Mínimo		100	100	100	100	100	98,6	12,3	0	0	0	0	0	0
Desviación Estándar		0	0	0	0	0	0,4	0,6	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°49. Granulometría de la arena triturada.

N°	Origen	Granulometría												
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	GRANULOMETRIA 1	100	100	100	100	100	100	97,1	0	78,9	49,5	38,9	23,6	7,2
2	GRANULOMETRIA 2	100	100	100	100	100	100	95,4	0	79,2	50,4	37,9	21,3	7,1
3	GRANULOMETRIA 3	100	100	100	100	100	100	95,3	0	78,4	50,1	38,8	22,5	8,1
Número de Granulometrías realizadas		= 3												
RESUMEN DE DATOS														
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100	100	100	100	100	100	95,9	0	78,8	50	38,5	22,5	7,5
Dato Máximo		100	100	100	100	100	100	97,1	0	79,2	50,4	38,9	23,6	8,1
Dato Mínimo		100	100	100	100	100	100	95,3	0	78,4	49,5	37,9	21,3	7,1
Desviación Estándar		0	0	0	0	0	0	1	0	0,4	0,5	0,6	1,2	0,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°50. Granulometría de la filler o llenante mineral.

N°	Origen	Granulometría												
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°8	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	GRANULOMETRIA 1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	86,8
2	GRANULOMETRIA 2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,5	89,3
3	GRANULOMETRIA 3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,6	88,4
Número de Granulometrías realizadas		= 3												
RESUMEN DE DATOS														
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,7	88,2
Dato Máximo		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	89,3
Dato Mínimo		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,5	86,8
Desviación Estándar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	1,3

Fuente: Elaboración propia.

Granulometría de las mezclas asfálticas de alto módulo con su respectiva faja de trabajo

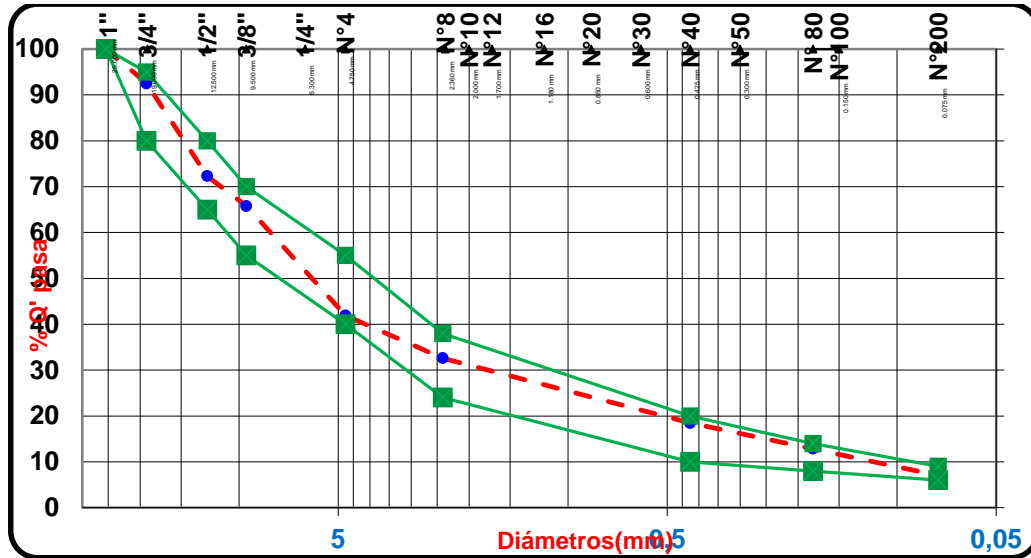
Tabla N°51. Granulometría de las mezclas de alto módulo.

AGREGADO		GRAVA TRIT. 3/4"		GRAVA TRIT. 3/8"		ARENA TRIT.		AREN FILLER		% QU E PAS A	TOLE RANCIAS (+/-)	FAJA		
% USADO		35%		25%		35%		5%				ESPECIF. GRAD. MEDIA	INF.	SUP.
TAMICES		% TO TAL	% EN C.	% TOT AL	% EN C.	% TOT AL	% EN C.	% TOT AL	% EN C.					
PUL G	mm.													
1"	25,4	100	35	100	25	100	35	100	5	100	0%	100	100	
3/4"	19,1	78,5	27,5	100	25	100	35	100	5	92,5	7%	80	95	
1/2"	12,5	20,8	7,3	100	25	100	35	100	5	72,3		65	80	
3/8"	9,5	2,9	1	99	24,8	100	35	100	5	65,8	7%	55	70	
#4	4,75	0,3	0,1	12,9	3,2	95,9	33,6	100	5	41,9	7%	40	55	
#10	2,36	0	0	0	0	78,8	27,6	100	5	32,6	5%	24	38	
#16	1,18	0	0	0	0	50	17,5	100	5	22,5				
#40	0,425	0	0	0	0	38,5	13,5	100	5	18,5	3%	10	20	
#80	0,18	0	0	0	0	22,5	7,9	99,7	5	12,9	2%	8	14	
#200	0,075	0	0	0	0	7,5	2,6	88,2	4,4	7	2%	6	9	

Fuente: Elaboración propia.

Faja de trabajo de las mezclas asfálticas de alto módulo (MAM)

Figura N°27. Faja de trabajo para mezclas de alto módulo (MAM).



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.

4.7.2. Ensayo de viscosidad vs temperatura para la elaboración de mezclas de asfálticas de alto módulo con adición de fibras acrílicas

Ensayo de viscosidad - temperatura del cemento asfáltico 20-30

Tabla N°52. Variación de la temperatura del asfalto 20-30

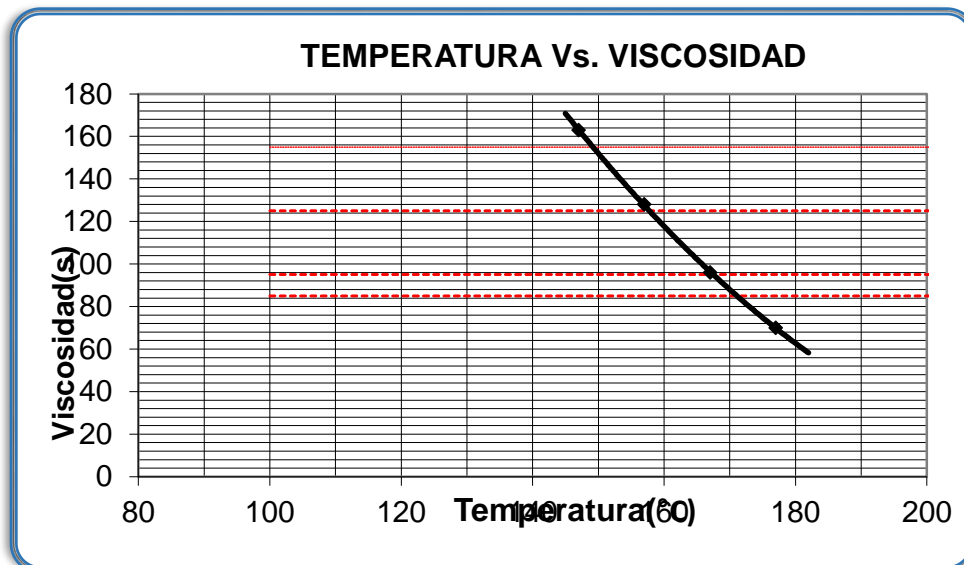
Punto	Temperatura (°C)	Viscosidad (seg)
1	147	163
2	157	128
3	167	96
4	177	70

Fuente: Elaboración propia.

a).- Aplicación.- Específica: Viscosidad 20 - 30 Saybolt Furol
Temperatura 168 y 171 °C

b).- Compactado.- Específica: Viscosidad 20-30 Saybolt Furol
Temperatura 149 y 158 °C

Figura N°28. Análisis viscosidad - temperatura del C.A. 20-30.



4.7.3. Preparación de las mezclas de alto módulo con adición de fibras acrílicas (C.A. 20-30)

Una vez conocido el porcentaje óptimo del cemento asfáltico y la temperatura de mezclado y compactado de las briquetas se procede a pesar las muestras para su respectiva compactación con el martillo en la siguiente tabla se muestran los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de las mezclas de alto módulo con adición de diferentes porcentajes de fibras acrílicas.

En la siguiente tabla se mostrara las diferentes cantidades a utilizarse para la realización de las briquetas con el porcentaje de cemento asfáltico de 6,22%.

Planilla de dosificación para la elaboración de mezclas de alto módulo (MAM) con adición de fibras acrílicas.

Tabla N°53. Dosificación de las mezclas de alto módulo (MAM).

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	C.A. 6,22%	
				P. Parcial (gr)	P. Acumulado(gr)
1"	100	0	0	0	0
3/4"	92,5	7,5	7,5	84,7	84,7
1/2"	72,3	27,7	20,2	227,3	311,9
3/8"	65,8	34,2	6,5	73,3	385,3
N°4	41,9	58,1	23,9	268,6	653,9
N°10	32,6	67,4	9,3	104,8	758,7
N°16	22,5	77,5	10,1	113,4	872,2
N°40	18,5	81,5	4	45,3	917,4
N°80	12,9	87,1	5,6	63,2	980,6
N°200	7	93	5,8	65,6	1046,2
Filler	0	100	7	79,2	1125,4
Peso Total=				1125,4	
Numero de briquetas a realizar con esta dosificación					18

Fuente: Elaboración propia.

Peso Muestra= 1125,4 gr
 Peso Asfalto= 74,6 gr
 Peso Total Material + C.
 Asf.= 1200,0 gr

4.7.4. Preparación de las fibras acrílicas

Las fibras acrílicas a utilizar son de naturaleza sintética, cuyos porcentajes según los fabricantes fluctúan entre en 0,3% y 0,6% del peso de los agregados, en la presente investigación para fines investigativos se procederá a pesar las fibras acrílicas siguiendo lineamientos de investigadores que dice que las fibras acrílicas deben pesarse en porcentajes con respecto al peso de los agregados.

Tabla N°54. Porcentaje de variación de las fibras acrílicas.

% de variación de las fibras acrílicas	Peso total de agregado =	1225,4 gr
	Peso (gr)	
0,50%	6,1	
1%	12,2	
1,50%	18,4	
2%	24,5	
4%	49	
6%	73,5	

Fuente: Elaboración propia.

Mezclas asfálticas de alto módulo (MAM)

Para fines de comparación se realizó las mezclas de alto módulo cuya granulometría, dosificación, temperatura de mezclado y compactado es la misma que las mezclas de alto módulo modificada con fibras acrílicas.

4.7.5. Preparación de las briquetas de alto módulo (C.A. 20-30)

El porcentaje óptimo de cemento asfáltico es 6,22%, la temperatura de mezclado es de 168-171 °C y compactado de 149-158°C, se procede a pesar las muestras para su respectiva compactación con el martillo, en la siguiente tabla se muestran los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas de alto módulo.

Tabla N°55. Dosificación de las mezclas de alto módulo.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	C.A. 6,22%	
				P. Parcial (gr)	P. Acumulado(gr)
1"	100	0	0	0	0
3/4"	92,5	7,5	7,5	84,7	84,7
1/2"	72,3	27,7	20,2	227,3	311,9
3/8"	65,8	34,2	6,5	73,3	385,3
N°4	41,9	58,1	23,9	268,6	653,9
N°10	32,6	67,4	9,3	104,8	758,7
N°16	22,5	77,5	10,1	113,4	872,2
N°40	18,5	81,5	4	45,3	917,4
N°80	12,9	87,1	5,6	63,2	980,6
N°200	7	93	5,8	65,6	1046,2
Filler	0	100	7	79,2	1125,4
Peso Total=				1125,4	
Número de briquetas a realizar con esta dosificación					3

Fuente: Elaboración propia.

Peso Muestra= 1125,4 gr
 Peso Asfalto= 74,6 gr
 Peso Total Material + C. Asf.= 1200,0 gr

4.7.6. Fabricación de briquetas

Conociendo todos los parámetros establecidos se procede a fabricar 9 briquetas de mezclas convencionales debido a que estas serán el patrón de comparación, 3 briquetas de mezclas de alto módulo, 18 briquetas de mezclas de alto módulo con adición de fibras acrílicas, variando en diferentes porcentajes para su respectiva evaluación y comparación con el parámetro patrón que viene a ser las mezclas asfálticas convencionales.

4.7.7. 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
- Asfalto 20/30
- Fibras acrílicas

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 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 175 a 190 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 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 debe estar entre 153 y 157 °C y no debe 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 5 briquetas convencionales, a una temperatura de 133- 141 °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 5 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

Fabricación de las briquetas con mezclas de alto módulo y adición de fibras acrílicas.-

El procedimiento a seguir es el mismo que el utilizado en la fabricación de las mezclas convencionales, la temperatura a utilizar de mezclado debe estar entre 168 y 161 °C y la temperatura de compactado debe estar entre 149 – 158 °C.

Figura N°29. Proceso de mezclado con las fibras acrílicas.



Fabricación de las briquetas con mezclas de alto módulo.- Para la fabricación de las briquetas con mezclas de alto módulo se sigue el mismo procedimiento y los mismos parámetros de temperatura de mezclado y compactación.

Figura N°30. Briquetas después de compactarse 75 golpes por cara.



Figura N°31. Ensayo de estabilidad y fluencia.



4.8. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO MARSHALL

Tabla N°56. Datos después de someter a la prensa Marshall.

	DESCRIPCIÓN	H(promedio) mm	H(promedio) cm	Peso seco gr.	Peso sumergido gr.	peso SSS gr.	ESTABILIDAD (Kg)	FLUENCIA DIAL(/100)
BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFALTICO 85/100)	C1	63,7	6,37	1186,8	682,6	1197,2	200	340
	C2	64,1	6,41	1181,8	676,7	1193,3	190	350
	C3	63,9	6,39	1186,2	683,2	1197,8	210	350
	C4	63,8	6,38	1186,4	683,5	1197,9	195	360
	C5	65,3	6,53	1182,5	678,9	1192,9	200	340
	C6	65,5	6,55	1172,2	670,3	1172,1	185	330
	C7	63,0	6,3	1168,6	669,5	1165,8	190	325
	C8	65,2	6,52	1190,1	678	1192,9	200	345
	C9	65,9	6,59	1188,7	681,3	1189,5	195	330
BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFALTICO 20/30)	M1	66,1	6,61	1187,2	671,9	1198,2	243	550
	M2	65,3	6,52	1183,9	679,2	1197,5	230	560
	M3	65,5	6,54	1183,7	679,1	1197,7	235	555
BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFALTICO 20/30 - 0,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)	B1	65,7	6,56	1185,2	678,1	1198,1	310	425
	B2	66,1	6,61	1186,6	677,6	1197,3	320	415
	B3	66,1	6,61	1187,8	678,8	1197,8	320	418

							LECTURA	
	DESCRIPCIÓN	H(promedio)mm	H(promedio) cm	Peso seco gr.	Peso sumergido gr.	peso SSS gr.	ESTABILIDAD DIAL(Kg)	FLUENCIA DIAL(/100)
BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1% DE FIBRAS ACRÍLICAS)	B1	66,9	6,69	1188,2	670,5	1198,1	340	440
	B2	67,5	6,75	1189,4	671,3	1198,6	345	450
	B3	66,7	6,67	1190,5	670,1	1199,3	340	450
BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)	B1	72,4	7,24	1205,8	673,2	1216,7	410	460
	B2	72,1	7,21	1207,1	672,8	1215,6	405	455
	B3	72,1	7,215	1206,5	673,4	1216,9	408	458
BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 2% DE FIBRAS ACRÍLICAS)	B1	72,1	7,21	1216,8	674,2	1230,8	426	480
	B2	71,9	7,19	1216,3	674	1229,2	430	490
	B3	72,1	7,21	1217,2	674,8	1231,3	435	490
BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 4% DE FIBRAS ACRÍLICAS)	B1	76	7,6	1229,8	670	1244,1	528	490
	B2	75,9	7,59	1228,7	669,3	1244	535	490
	B3	76,0	7,6	1230,3	672,2	1246,5	520	475
BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 6% DE FIBRAS ACRÍLICAS)	B1	77,9	7,79	1235,5	649,9	1247,1	780	480
	B2	77,3	7,73	1219,5	643,6	1230,5	820	320
	B3	77,3	7,73	1219,1	644,1	1231,1	860	370

Fuente: Elaboración propia.

4.9. 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 serán las que analizaremos en el documento:

- Altura de la briketa:

Se miden las alturas en 4 puntos de la briketa 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°57. Altura de las briquetas

Identificación	altura briketa (cm)
C1	6,37
C2	6,41
C3	6,39
C4	6,38
C5	6,53
C6	6,55
C7	6,3
C8	6,52
C9	6,59

Fuente: Elaboración propia.

- Porcentaje de asfalto.- Se calcula con el porcentaje óptimo calculado anteriormente que es igual a 6,22%.

1c) Base de agregado:

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{6,22 * 100}{100 - 6,22}$$

$$\text{Base de agregado} = 6,63$$

2c) Base de la mezcla:

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 5 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 6,22%

- Peso de la briketa en el aire

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

Tabla N°58. Peso en aire de las briquetas.

Identificación	Peso briketa en el aire(gr)
C1	1186,8
C2	1181,8
C3	1186,2
C4	1186,4
C5	1182,5
C6	1172,2
C7	1168,6
C8	1190,1
C9	1188,7

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°59. Peso en aire de las briquetas (s.s.s.).

Identificación	Peso briqueta en el aire s.s.s.(gr)
C1	1197,2
C2	1193,3
C3	1197,8
C4	1197,9
C5	1192,9
C6	1172,1
C7	1165,8
C8	1192,9
C9	1189,5

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°60. Peso de briqueta sumergida.

Identificación	peso briqueta sumergida en el agua(gr)
C1	682,6
C2	676,7
C3	683,2
C4	683,5
C5	678,9

C6	670,3
C7	669,5
C8	678
C9	681,3

Fuente: Elaboración propia.

- Volumen de la briqueta:

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

$$\text{Vol. de briq.} = 1197,2 \text{ gr} - 682,6 \text{ gr}$$

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:

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

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{6,22}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right) + \left(\frac{100 - 6,22}{2,663 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$D \text{ max t.} = 2,419 \text{ gr/cm}^3$$

- Porcentaje de vacíos:

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

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

$$Vv = \left(\frac{2,419 \text{ gr/cm}^3 - 2,301 \text{ gr/cm}^3}{2,419 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$Vv = 4,86\%$$

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

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

$$VAM = \left(\frac{6,22 * 2,301 \text{ gr/cm}^3}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right) + 4,86\%$$

$$VAM = 18,95\%$$

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

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

$$RBV = \left(\frac{18,95 - 4,86}{18,95} \right) * 100$$

$$RBV = 74,34\%$$

k) Estabilidad (Lb)

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

Tabla N°61. Datos de estabilidad y fluencia.

DESCRIPCIÓN	LECTURA DIAL	
	ESTABILIDAD(Kg)	FLUENCIA (1/100)
C1	200	340
C2	190	350
C3	210	350
C4	195	360
C5	200	340
C6	185	330
C7	190	325
C8	200	345
C9	195	330

Fuente: Elaboración propia.

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

$$\text{Estabilidad} = \left(\frac{0,000004(\text{lect. dial})^3 - 0,0038(\text{lect. dial})^2 + 5,55(\text{lect. dial}) + 11,768}{0,4536} \right)$$

Estabilidad corregida para C1:

$$= \left(\frac{0,000004(200)^3 - 0,0038(200)^2 + 5,55(200) + 11,768}{0,4536} \right)$$

Estabilidad = 2208,483 Lb

Resumen de la estabilidad:

Tabla N°62. Datos de estabilidad real.

Identificación	Lectura Estabilidad(kg)	REAL(lb)
C1	200	2208,5
C2	190	2108,7
C3	210	2307,6
C4	195	2158,7
C5	200	2208,5
C6	185	2058,6
C7	190	2108,7
C8	200	2208,5
C9	195	2158,7

Fuente: Elaboración propia.

- Factor de corrección de la altura (mm).- El factor de corrección de la altura de la briqueta se lo realiza con la tabla de correcciones que se halla en los anexos.

Tabla N°63. Factor de corrección de altura.

Identificación	factor de corrección (altura)
C1	0,995
C2	0,985
C3	0,99
C4	0,993
C5	0,956
C6	0,953
C7	1,013
C8	0,958
C9	0,945

Fuente: Normativa AASTHO.

- Estabilidad corregida para C1:

$$\text{Estabilidad corregida} = 2208,5\text{Lb} * 0,995$$

Estabilidad corregida = 2197,5 lb

- Resumen de estabilidad corregida

Tabla N°64. Resultados de estabilidad corregida

Identificación	Estabilidad corregida (lb)
C1	2197,5
C2	2077,1
C3	2284,5
C4	2143,6
C5	2111,3
C6	1961,8
C7	2136,1
C8	2115,7
C9	2040,0

Fuente: Elaboración propia.

- Flujo corregido para C1:

$$\text{Flujo corregido} = \frac{340}{25,4}$$

$$\text{Flujo corregido} = 13,38$$

Resumen de la corrección de la fluencia:

Tabla N°65. Resultados de fluencia corregida

Identificación	Fluencia corregida 1/100
C1	13,4
C2	13,8
C3	13,8
C4	14,2

C5	13,4
C6	13,0
C7	12,8
C8	12,6
C9	13,0

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra la estabilidad y fluencia corregida para la mezcla convencional con cemento asfáltico 85-100, de la cuál deberá evaluarse estadísticamente.

Tabla N°66. Resumen de resultados estabilidad y fluencia.

Identificación	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia corregida 1/100
C1	2197,5	13,4
C2	2077,1	13,8
C3	2284,5	13,8
C4	2143,6	14,2
C5	2111,3	13,4
C6	1961,8	13,0
C7	2136,1	12,8
C8	2115,7	12,6
C9	2040,0	13,0

Fuente: Elaboración propia.

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

4.9.1. Tratamiento estadístico

Conociendo la estabilidad y fluencia procedemos a evaluar estadísticamente:

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)

Tabla N°67. Resultados de la fluencia y estabilidad para la mezcla convencional.

DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA(Lb)	FLUENCIA 1/100
C1	2197,4	13,4
C2	2077,1	13,8
C3	2284,5	13,8
C4	2142,5	14,2
C5	2112,0	13,4
C6	1961,8	13,0
C7	2136,1	12,8
C8	2115,7	13,6
C9	2040,0	13,0
media	2118,6	13,4
desviación estándar	91,6	0,5
M+desv. (Límite superior)	2210,2	13,9
M-desv.(Límite inferior)	2027,0	13,0

Fuente: Elaboración propia.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)

Tabla N°68. Resumen de resultados estabilidad y fluencia para la mezcla de alto módulo.

DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD REAL(Lb)	FLUENCIA 1/100
C1	2476,6	21,7
C2	2394,0	22,0
C3	2433,1	21,9
media	2434,6	21,9
desviación estándar	41,287	0,197
M+desv. (Límite superior)	2475,9	22
M-desv.(Límite inferior)	2393,3	21,7

Fuente: Elaboración propia.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 0,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Tabla N°69. Resumen de resultados estabilidad y fluencia para la mezcla de alto módulo fibras acrílicas.

DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD REAL(Lb)	FLUENCIA 1/100
C1	3109,5	16,7
C2	3173,4	16,3
C3	3173,4	16,5
media	3152,1	16,5
desviación estándar	36,929	0,202
M+desv. (Límite superior)	3189	16,7
M-desv.(Límite inferior)	3115,2	16,3

Fuente: Elaboración propia.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Tabla N°70. Resumen de resultados estabilidad y fluencia para la mezcla de alto módulo fibras acrílicas.

DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD REAL(Lb)	FLUENCIA 1/100
C1	3289,7	17,3
C2	3287,1	17,7
C3	3314,7	17,7
media	3297,2	17,6
desviación estándar	15,228	0,227
M+desv. (Límite superior)	3312,4	17,8
M-desv.(Límite inferior)	3281,9	17,4

Fuente: Elaboración propia.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Tabla N°71. Resumen de resultados estabilidad y fluencia para la mezcla de alto módulo fibras acrílicas.

DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD REAL(Lb)	FLUENCIA 1/100
C1	3474,2	18,1
C2	3450,8	17,9
C3	3466,6	18,0
media	3463,9	18,0
desviación estándar	11,914	0,099
M+desv. (Límite superior)	3475,8	18,1
M-desv.(Límite inferior)	3452	17,9

Fuente: Elaboración propia.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 2% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Tabla N°72. Resumen de resultados estabilidad y fluencia para la mezcla de alto módulo fibras acrílicas.

DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD REAL(Lb)	FLUENCIA 1/100
C1	3620,9	18,9
C2	3662,4	19,3
C3	3694,5	19,3
media	3659,3	19,2
desviación estándar	36,861	0,227
M+desv. (Límite superior)	3696,1	19,4
M-desv.(Límite inferior)	3622,4	18,9

Fuente: Elaboración propia.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 4% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Tabla N°73. Resumen de resultados estabilidad y fluencia para la mezcla de alto módulo fibras acrílicas.

DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD REAL(Lb)	FLUENCIA 1/100
C1	4146,5	19,3
C2	4220,7	19,3
C3	4092,0	18,7
media	4153,1	19,1
desviación estándar	64,579	0,341
M+desv. (Límite superior)	4217,7	19,4
M-desv.(Límite inferior)	4088,5	18,8

Fuente: Elaboración propia.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 6% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Tabla N°74. Resumen de resultados estabilidad y fluencia para la mezcla de alto módulo fibras acrílicas.

DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD REAL(Lb)	FLUENCIA 1/100
C1	8657,5	18,9
C2	9288,2	12,6
C3	9961,4	14,6
media	9302,4	15,4
desviación estándar	652,1	3,2
M+desv. (Límite superior)	9954,4	18,6
M-desv.(Límite inferior)	8650,3	12,1

Fuente: Elaboración propia.

4.9.2. 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 C3 para la estabilidad y C7 para la fluencia, datos que no serán tomados en cuenta para los cálculos posteriores.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)

Los datos depurados no reúnen las condiciones estadísticas de borde, los mismos tienen la descripción de C1 para la estabilidad.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 0,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

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.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Los datos depurados no reúnen las condiciones estadísticas de borde, los mismos tienen la descripción de C3 para la estabilidad y C1 para la fluencia, datos que no serán tomados en cuenta para los cálculos posteriores.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Los datos depurados no reúnen las condiciones estadísticas de borde, los mismos tienen la descripción de C2 para la estabilidad, datos que no serán tomados en cuenta para los cálculos posteriores.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 2% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

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.

- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 4% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Los datos depurados no reúnen las condiciones estadísticas de borde, los mismos tienen la descripción de C1 para la estabilidad y C3 para la fluencia, datos que no serán tomados en cuenta para los cálculos posteriores.

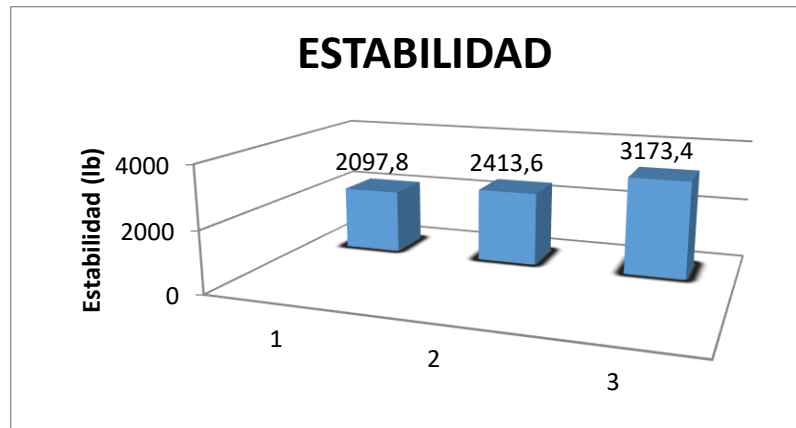
- BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 6% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Los datos depurados no reúnen las condiciones estadísticas de borde, los mismos tienen la descripción de C3 para la estabilidad y C1 para la fluencia, datos que no serán tomados en cuenta para los cálculos posteriores.

4.10. Análisis de comparación de la estabilidad

Primera comparación de la estabilidad con 0,5% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 0,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
2097,8	2413,6	3173,4



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 0,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

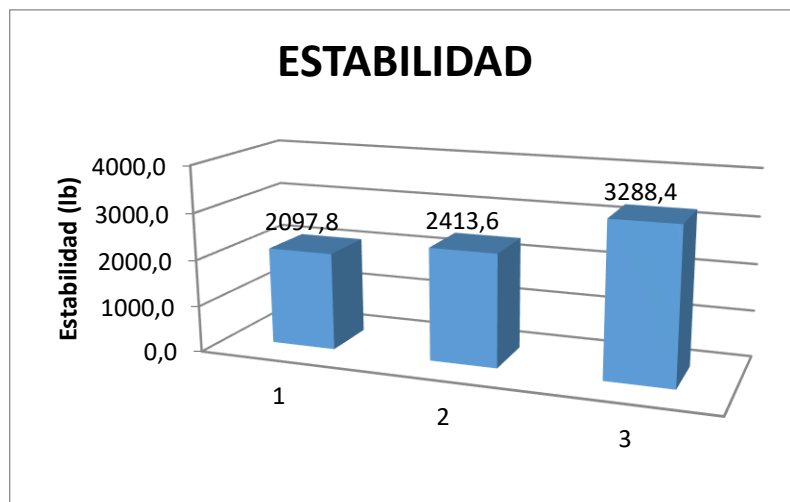
Resumen de resultados				Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Ensayo	mezcla				
Marshall	C.A. 85-100	C.A. 20-30	modificada con fibras		
Estabilidad	2097,8	2413,6	3173,4	33,894	23,943

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 0,5 % de fibras acrílicas hace que la tendencia de la estabilidad aumente en un 33,894% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, de igual forma sube con el 23,943% en comparación con el cemento asfáltico de mayor dureza 20-30.

Segunda comparación de la estabilidad con 1% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
2097,8	2413,6	3288,4



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

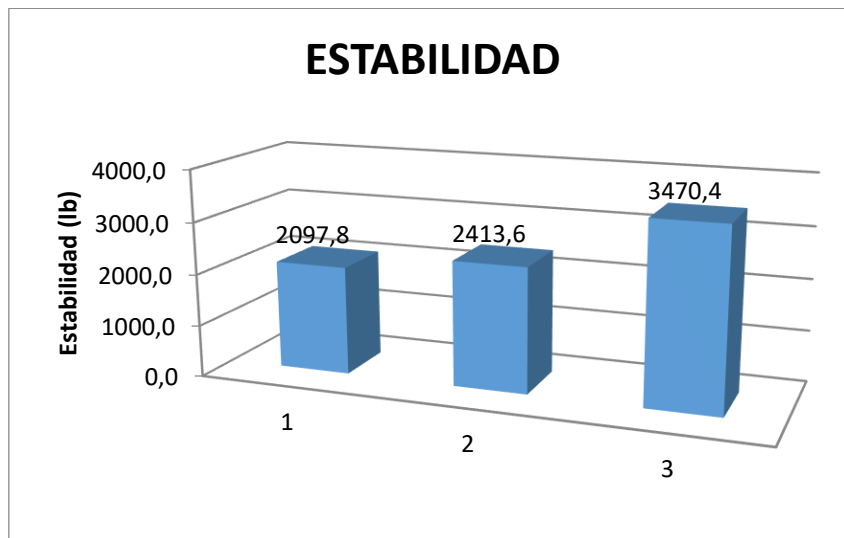
Resumen de resultados				Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Ensayo	mezcla				
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Estabilidad	2097,8	2413,6	3288,4	36,207	26,603

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 1 % de fibras acrílicas hace que la tendencia de la estabilidad aumente en un 36,207% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, de igual forma sube con el 26,603% en comparación con el cemento asfáltico de mayor dureza 20-30.

Tercera comparación de la estabilidad con 1.5% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
2097,8	2413,6	3470,4



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

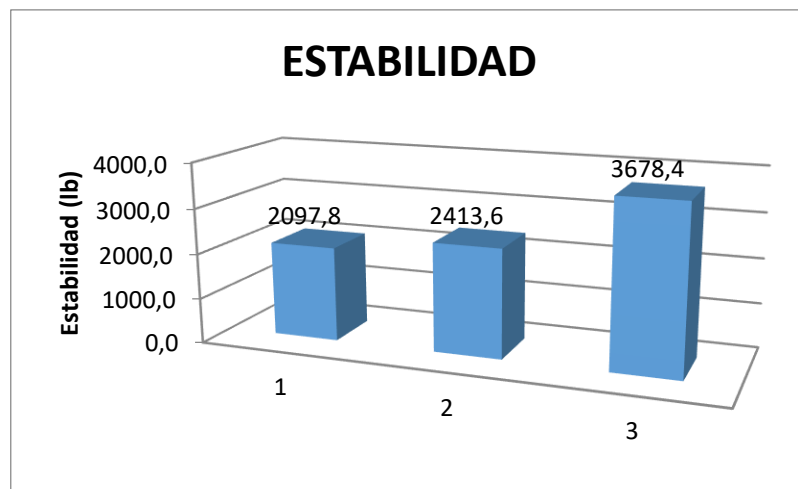
Resumen de resultados				Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Ensayo	mezcla				
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Estabilidad	2097,8	2413,6	3470,4	39,551	30,452

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 1,5 % de fibras acrílicas hace que la tendencia de la estabilidad aumente en un 39,551% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, de igual forma sube con el 30,452% en comparación con el cemento asfáltico de mayor dureza 20-30.

Cuarta comparación de la estabilidad con 2% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 2% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
2097,8	2413,6	3678,4



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 2% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

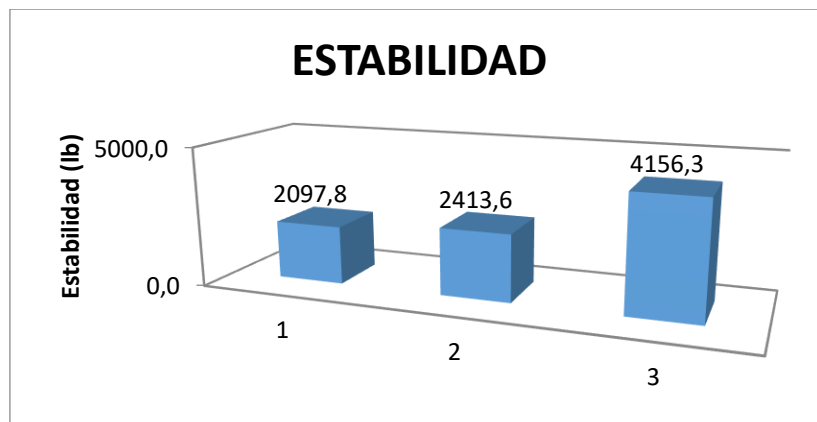
Resumen de resultados				Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Ensayo	mezcla				
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Estabilidad	2097,8	2413,6	3678,4	42,970	34,384

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 2 % de fibras acrílicas hace que la tendencia de la estabilidad aumente en un 42,970% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, de igual forma sube con el 34,384% en comparación con el cemento asfáltico de mayor dureza 20-30.

Quinta comparación de la estabilidad con 4% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 4% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
2097,8	2413,6	4156,3



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 4% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

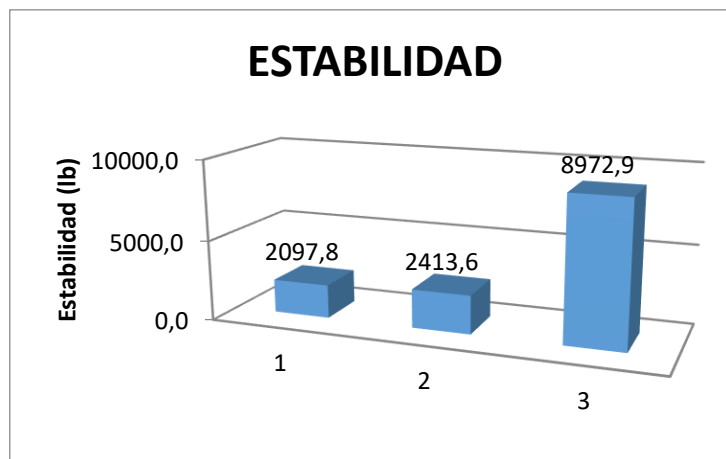
Resumen de resultados				Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Ensayo	mezcla				
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Estabilidad	2097,8	2413,6	4146,3	49,405	41,789

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 4 % de fibras acrílicas hace que la tendencia de la estabilidad aumente en un 49,405% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, de igual forma sube con el 41,789% en comparación con el cemento asfáltico de mayor dureza 20-30.

Quinta comparación de la estabilidad con 6% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 6% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
2097,8	2413,6	8972,9



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 6% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Resumen de resultados				Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Ensayo	mezcla				
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Estabilidad	2097,8	2413,6	8972,9	76,621	73,101

Análisis de resultados obtenidos:

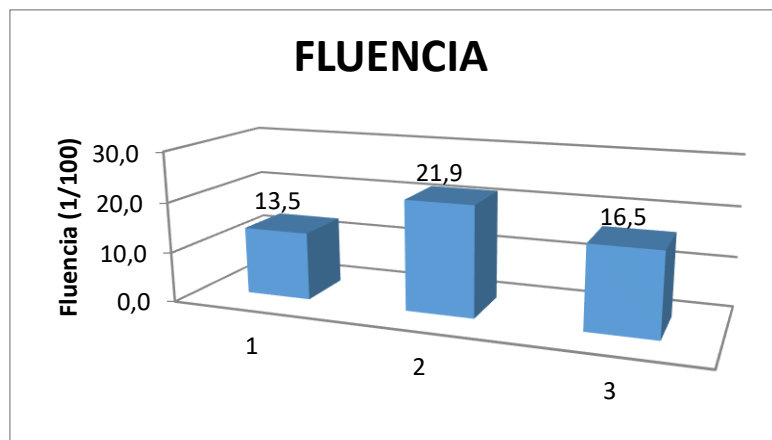
El uso del 6% de fibras acrílicas hace que la tendencia de la estabilidad aumente en un 76,621% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, de igual forma sube con el 73,101% en comparación con el cemento asfáltico de mayor dureza 20-30.

Llegando al 6% de fibras acrílicas en una mezcla de alto módulo esta se rigidiza no pudiendo medir el valor de la estabilidad y la fluencia en la prensa Marshall.

4.11. Análisis de comparación del flujo

Primera comparación de la fluencia con 0,5% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 0,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
FLUENCIA 1/100		
13,5	21,9	16,5



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 0,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

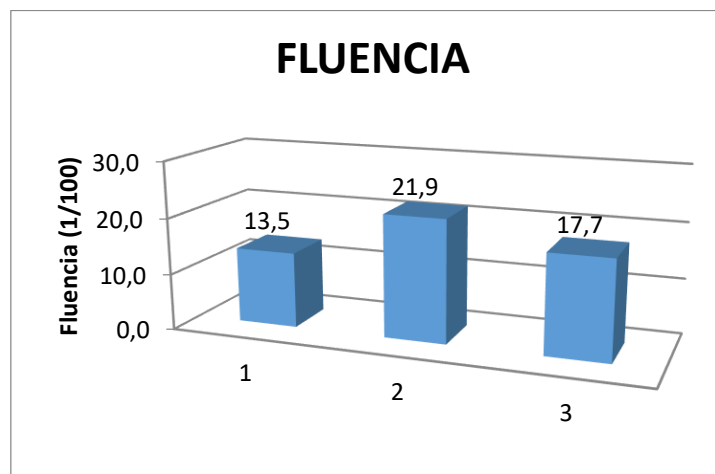
Resumen de resultados					
Ensayo	mezcla			Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Fluencia	13,5	21,9	16,5	18,182	24,658

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 0,5% de fibras acrílicas hace que la tendencia de la fluencia aumente en un 18,182% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, mientras que en el cemento asfáltico de mayor dureza la fluencia es menor y baja en un 24,658%.

Segunda comparación de la fluencia con 1% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
FLUENCIA 1/100		
13,5	21,9	17,7



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

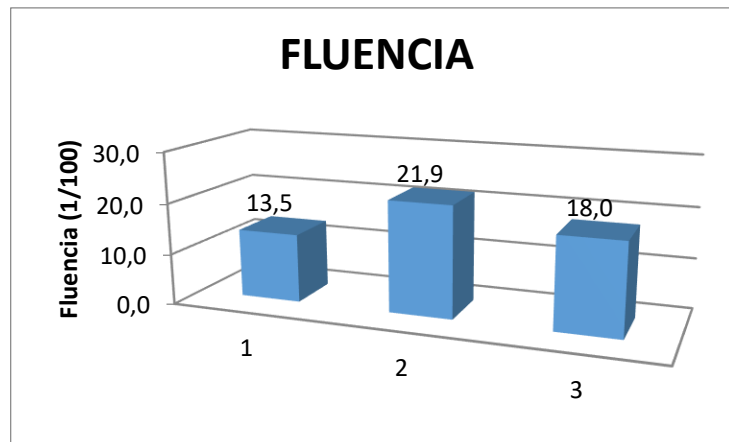
Resumen de resultados					
Ensayo	mezcla			Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Fluencia	13,5	21,9	17,7	23,729	19,178

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 1% de fibras acrílicas hace que la tendencia de la fluencia aumente en un 23,729% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, mientras que en el cemento asfáltico de mayor dureza la fluencia es menor y baja en un 19,178%.

Tercera comparación de la fluencia con 1,5% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
FLUENCIA 1/100		
13,5	21,9	18,0



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 1,5% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

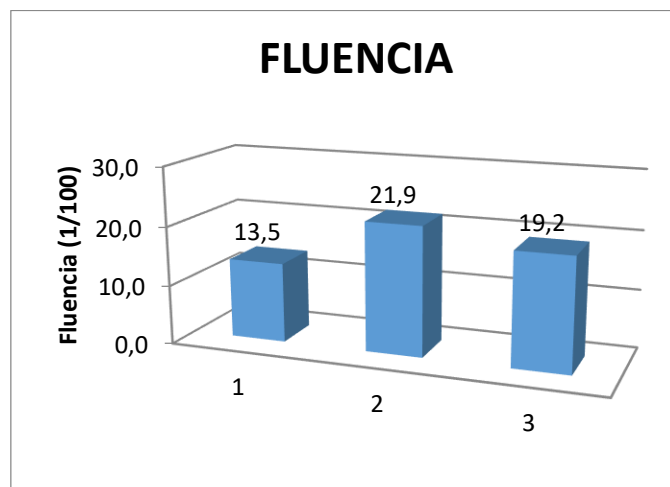
Resumen de resultados					
Ensayo	mezcla			Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Fluencia	13,5	21,9	18,0	25,0	17,808

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 1,5% de fibras acrílicas hace que la tendencia de la fluencia aumente en un 24,444% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, mientras que en el cemento asfáltico de mayor dureza la fluencia es menor y baja en un 17,808%.

Cuarta comparación de la fluencia con 2% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 2% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
FLUENCIA 1/100		
13,5	21,9	19,2



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 2% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

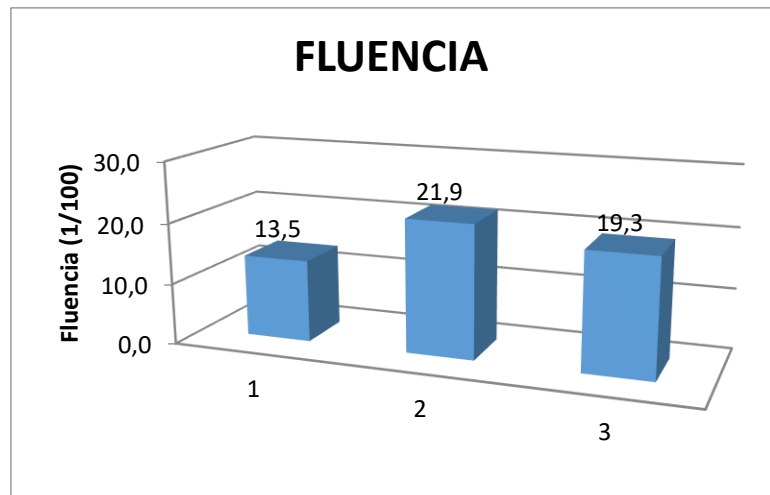
Resumen de resultados					
Ensayo	mezcla			Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Fluencia	13,5	21,9	19,2	29,687	12,329

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 2% de fibras acrílicas hace que la tendencia de la fluencia aumente en un 29,687% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, mientras que en el cemento asfáltico de mayor dureza la fluencia es menor y baja en un 12,329%.

Quinta comparación de la fluencia con 4% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 4% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
FLUENCIA 1/100		
13,5	21,9	19,3



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 4% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

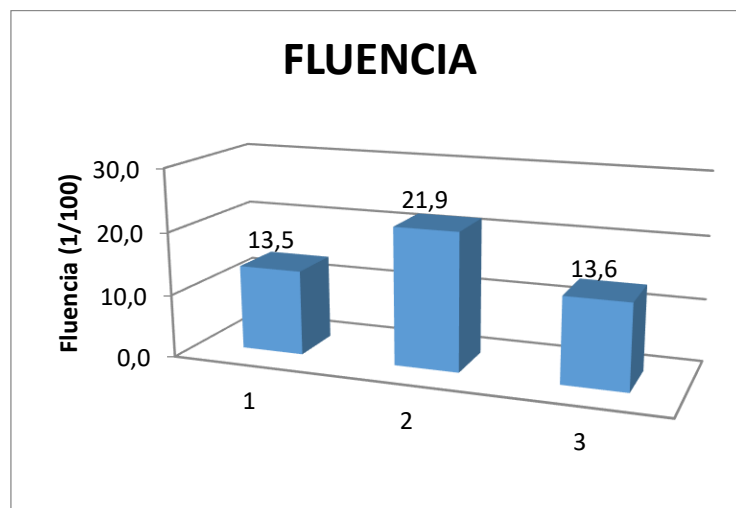
Resumen de resultados				Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
Ensayo	mezcla				
Marshall	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Fluencia	13,5	21,9	19,3	30,052	11,872

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 4% de fibras acrílicas hace que la tendencia de la fluencia aumente en un 30,052% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, mientras que en el cemento asfáltico de mayor dureza la fluencia es menor y baja en un 11,872%.

Sexta comparación de la fluencia con 6% de fibras acrílicas

BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)	BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 6% DE FIBRAS ACRÍLICAS)
FLUENCIA 1/100		
13,5	21,9	13,6



1. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 85/100)
2. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30)
3. BRIQUETAS REALIZADAS CON (CEMENTO ASFÁLTICO 20/30 - 6% DE FIBRAS ACRÍLICAS)

Resumen de resultados					
Ensayo	mezcla			Diferencia convencional vs modificado con fibras acrílicas (%)	Diferencia C.A. 20-30 vs modificado con fibras (%)
	C.A. 85-100	con C.A. 20-30	modificada con fibras		
Fluencia	13,5	21,9	13,6	0,735	37,899

Análisis de resultados obtenidos:

El uso del 6% de fibras acrílicas hace que la tendencia de la fluencia aumente en un 0,735% en comparación con el uso del cemento asfáltico convencional 85-100, mientras que en el cemento asfáltico de mayor dureza la fluencia es menor y baja en un 37,899%.

4.12. Análisis de los costos de producción:

Es preciso tener en cuenta que el costo de producción es uno de los indicadores más importantes a considerar en los proyectos de ingeniería. Por lo tanto, mientras más eficiente sea la labor de éstas, menos recursos se invertirán en su producción y, por consiguiente, menor será la cuantía de los gastos.

El costo de producción debe establecerse en un medidor fiel del aprovechamiento de los recursos materiales, laborales y financieros en el proceso de producción, porque, además, conjuntamente con los indicadores del volumen de realización, determina el nivel de ganancia que obtiene la organización.

El costo constituye, además, la base para la formación de los precios de los productos elaborados. Por ello es tan importante la obtención del máximo de producción, con el mínimo indispensable de gastos, para garantizar así el gradual incremento de las ganancias o utilidades. Para el presente estudio se analiza los costos de producción de la planta de mezcla asfáltica, dichos costos analizados no se incluye ningún valor por el concepto de utilidad porque lo que se pretende es determinar el costo neto de

producción de la mezcla asfáltica convencional, mezcla asfáltica de alto modulo y la mezcla de alto modulo modificada con fibras acrílicas.

Dosificación de la mezcla convencional:

Tabla N°75. Dosificación para la mezcla.

Calculo de la dosificación de la mezcla convencional	
Materiales	Porcentaje
Agregado de 3/4	18,76%
Agregado de 3/8	30,94%
Arena clasificada	44,07%
Cemento asfaltico	6,22%

Fuente: Elaboración propia.

Composición de la mezcla:

Agregado=93,78%

Cemento asfaltico=6,22%

Peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones= 2250 kg/m³.

Tabla N°76. Dosificación para 1 m³.

Dosificación para un metro cubico				
Material	Peso(kg)	Peso específico (Kg/m3)	Volumen (m3)	Unidad
Agregado de 3/4	422,1	2576	0,18	m3
Agregado de 3/8	696,15	2563	0,29	m3
Arena clasificada	991,57	2608	0,39	m3
Cemento asfaltico	139,95	1016		kg

Fuente: Elaboración propia.

Planilla de precio unitario para la mezcla convencional:

<p style="text-align: center;">ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</p> <p>PROYECTO: CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO (MEZCLA CONVENCIONAL)</p> <p>ACTIVIDAD: COLOCADO DE CARPETA</p> <p>UNIDAD: M3</p> <p>CANTIDAD: 1,00</p> <p style="text-align: right;">TIPO DE CAMBIO Bs/\$us: 7,07</p>						
	A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	-	Diesel	lt	18,00	3,72	66,96
2	-	Arena clasificada	m3	0,39	145,00	56,55
3	-	Cemento asfaltico 85-100	kg	139,95	10,29	1.440,09
4	-	Grava triturada clasificada 3/4"	m3	0,18	152,00	27,36
5	-	Grava triturada clasificada 3/8"	m3	0,29	162,00	46,98
						0,00
						0,00
>	D	TOTAL MATERIALES			(A)	1.637,94
	B	MANO DE OBRA				
1	-	Obrero	Hr	0,07	13,18	0,92
2	-	Capataz	Hr	1,80	18,02	32,44
3	-	Chofer	Hr	0,00	16,44	0,00
4	-	Ayudante de maquinaria y equipo	Hr	0,03	13,18	0,40
5	-	Operador de planta	Hr	0,09	24,85	2,24
6	-	Operador de equipo liviano	Hr	0,08	16,44	1,32
7	-	Operador	Hr	0,82	18,02	14,78
>	E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	52,08
	F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	37,07
	O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	13,32
>	G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	102,47
	C	EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
1	-	Terminadora de asfalto	Hr	0,08	350	28,00
2	-	Cargador frontal de ruedas	Hr	0	420,7	0,00
3	-	Compactador rodillo liso y pata de cabra autopro.	Hr	0,04	304,66	12,19
4	-	Escoba mecánica autopropulsada	Hr	0,03	70,60	2,12
5	-	Planta calentamiento de asfalto	Hr	0,09	964,97	86,85
6	-	Rodillo neumático TPS 10000	Hr	0,08	332,33	26,59

7	-	Volquete 12 m3 o 20 Tn	Hr	0,03	227,85	6,84
		Herramientas menores		5,00%	(G)	5,12
>	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	167,70
>	J	SUB TOTAL			(D+G+I)	1908,11
	L	Gastos generales y administrativos		15,50%	(J)	295,76
>	N	PARCIAL			(J+L)	2.203,86
>	Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(N+P)	2.203,86
>		PRECIO ADOPTADO				2.203,86
Son: Dos mil doscientos tres con 86/100 Bolivianos						

Análisis de precios unitarios realizados para las demás mezclas asfálticas:

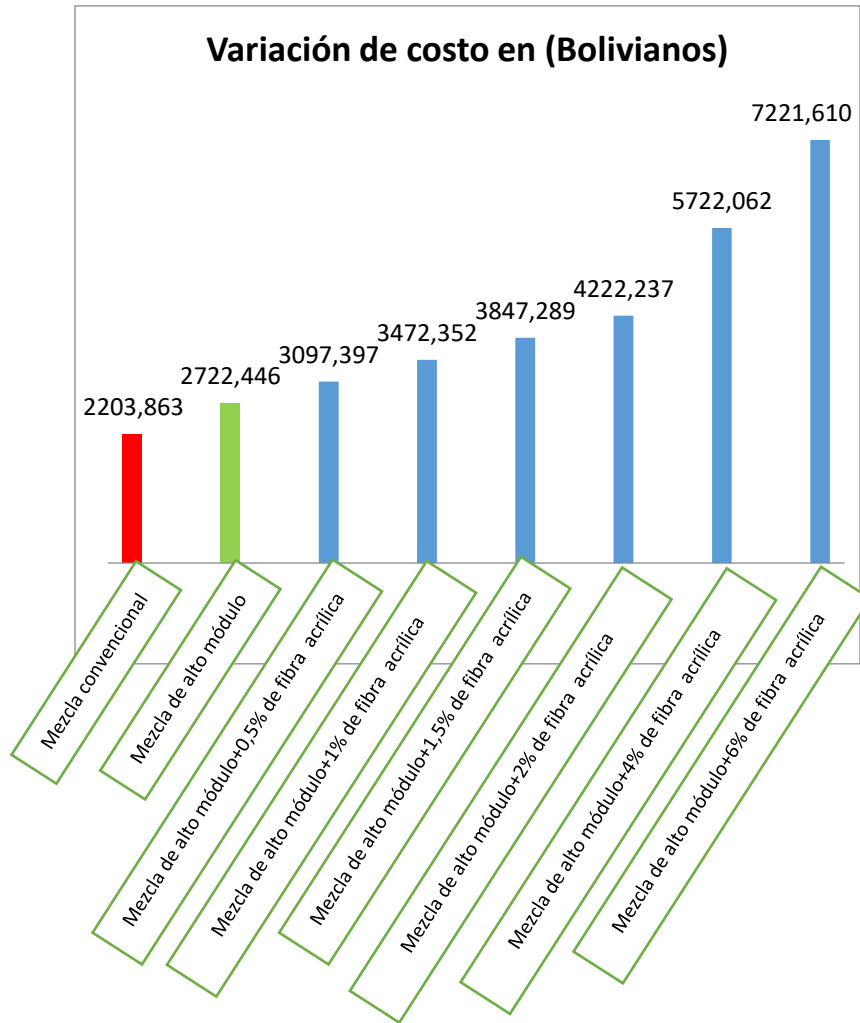
Tabla N°77. Costos de producción.

DESCRIPCIÓN	Costo (Bs)
Mezcla convencional	2203,863
Mezcla de alto módulo	2722,446
Mezcla de alto módulo + 0,5%Fibras acrílicas	3097,397
Mezcla de alto módulo+ 1%Fibras acrílicas	3472,352
Mezcla de alto módulo + 1,5%Fibras acrílicas	3847,289
Mezcla de alto módulo + 2%Fibras Acrílicas	4222,237
Mezcla de alto módulo+ 4%Fibras acrílicas	5722,062
Mezcla de alto módulo + 6%Fibras acrílicas	7221,610

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 77 se puede observar los costos para la producción en planta de la mezcla asfáltica convencional, mezcla asfáltica de alto modulo y las mezclas asfálticas de alto modulo con adición de diferentes porcentajes de fibras acrílicas. Las planillas de precios unitarios para las diferentes mezclas se hallan en los anexos.

Figura 32. Costos de las diferentes mezclas asfálticas.



4.13. Variación en porcentaje de los costos de producción en planta:

En la siguiente tabla se observara como fluctúa el costo de producción de:

- Mezcla asfáltica convencional vs Mezcla de alto módulo.
- Mezcla asfáltica convencional vs Mezcla de alto módulo con adición de fibras acrílicas.

Tabla N°78. Variación en porcentaje de los costos de producción.

COSTO POR METRO CUBICO (Bs)			Incremento de costo en (%)	
			Diferencia mezcla de alto módulo vs mezcla de alto módulo con 0,5% de fibras acrílicas	Diferencia Convencional vs modificado con 0,5% de fibras acrílicas
Convencional	Mezcla de alto módulo	Mezcla de alto módulo con 0,5% de fibras acrílicas		
2203,86	2722,45	3097,40	12,105	28,848

COSTO POR METRO CUBICO (Bs)			Incremento de costo en (%)	
			Diferencia mezcla de alto módulo vs mezcla de alto módulo con 1% de fibras acrílicas	Diferencia Convencional vs modificado con 1% de fibras acrílicas
Convencional	Mezcla de alto módulo	Mezcla de alto módulo con 1% de fibras acrílicas		
2203,86	2722,45	3472,35	21,596	36,531

COSTO POR METRO CUBICO (Bs)			Incremento de costo en (%)	
			Diferencia mezcla de alto módulo vs mezcla de alto módulo con 2% de fibras acrílicas	Diferencia Convencional vs modificado con 2% de fibras acrílicas
Convencional	Mezcla de alto módulo	Mezcla de alto módulo con 2% de fibras acrílicas		
2203,86	2722,45	4222,24	35,52	47,803

COSTO POR METRO CUBICO (Bs)			Incremento de costo en (%)	
			Diferencia mezcla de alto módulo vs mezcla de alto módulo con 4% de fibras acrílicas	Diferencia Convencional vs modificado con 4% de fibras acrílicas
Convencional	Mezcla de alto módulo	Mezcla de alto módulo con 4% de fibras acrílicas		
2203,86	2722,45	5722,06	52,421	61,483

COSTO POR METRO CUBICO (Bs)			Incremento de costo en (%)	
			Diferencia mezcla de alto módulo vs mezcla de alto módulo con 6% de fibras acrílicas	Diferencia Convencional vs modificado con 6% de fibras acrílicas
Convencional	Mezcla de alto módulo	Mezcla de alto módulo con 6% de fibras acrílicas		
2203,86	2722,45	7221,61	62,301	69,482

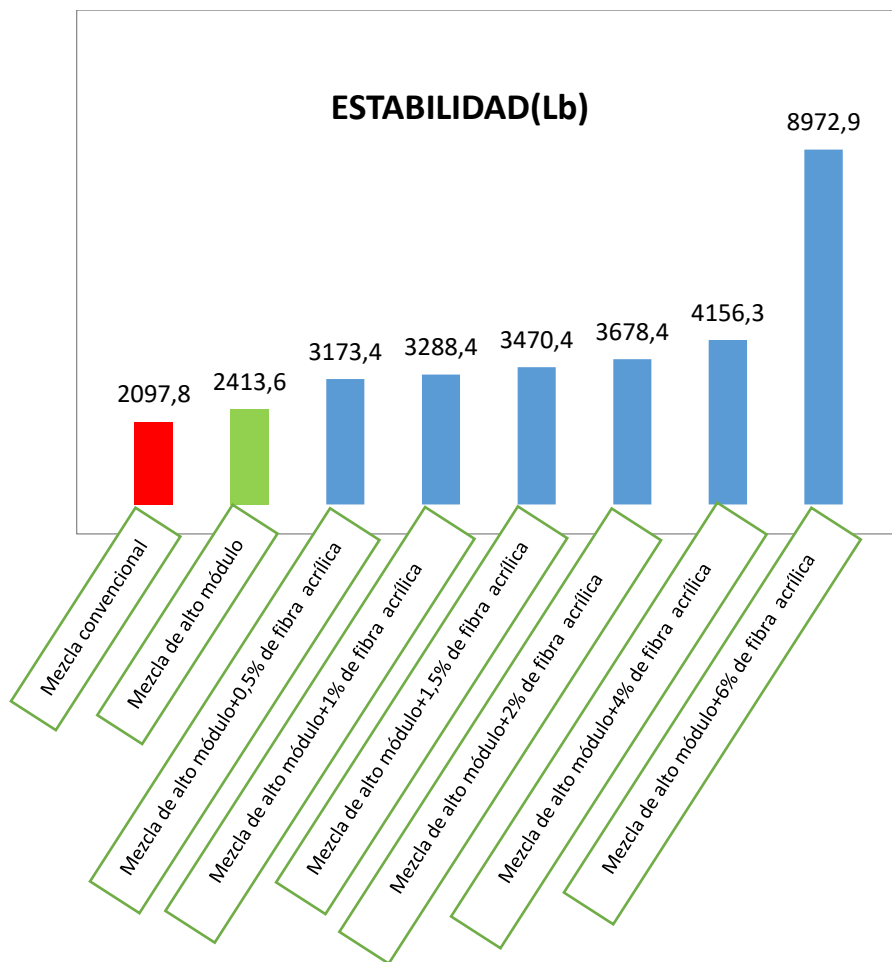
Fuente: Elaboración propia.

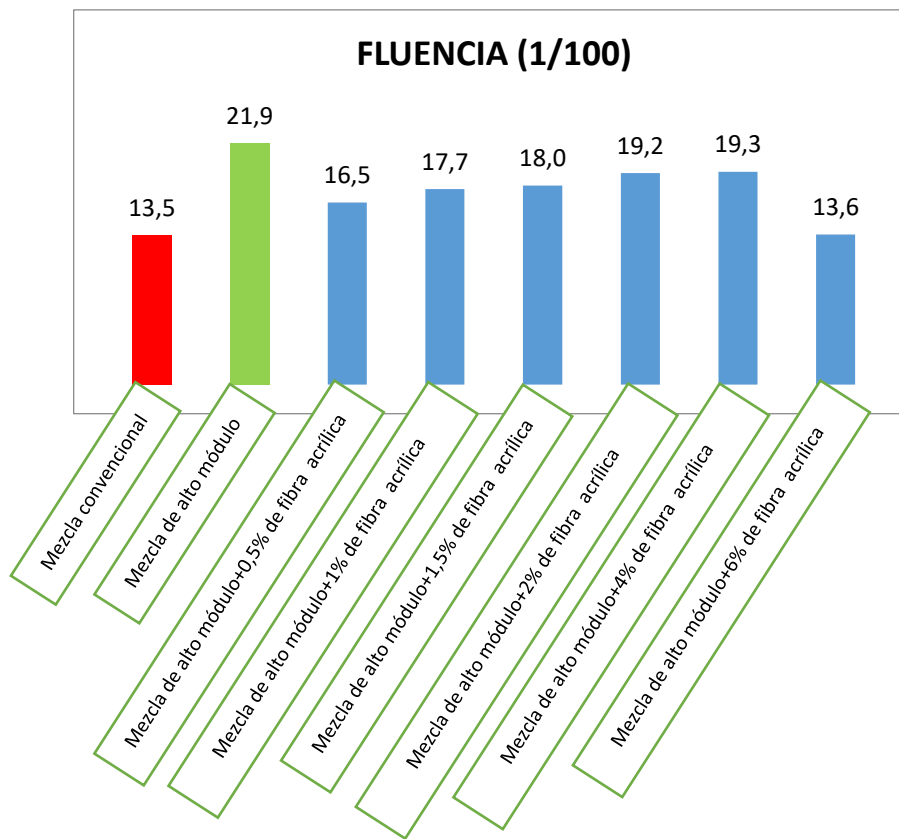
5.1. CONCLUSIONES

1. Se concluyó que el trabajo de investigación cumplió con los objetivos planteados.
2. De acuerdo a la hipótesis planteada se verificó en la investigación que la propiedad mecánico-resistente de estabilidad y fluencia, se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de fibras acrílicas en la mezcla de alto módulo, en comparación con las mezclas convencionales, además de que las mezclas de alto módulo son ideales para zonas de clima cálido.
3. La elaboración de las mezclas de alto módulo siguen lineamientos de fabricación de las mezclas convencionales, salvo que la dosificación de las mezclas de alto módulo se realiza con mayor proporción de agregado retenido en el tamiz 3/4" rescatando partículas gruesas producidas en los bancos de materiales y se utiliza mayor porcentaje de filler en un rango de 7 – 9%.
4. De acuerdo a los ensayos realizados se pudo evidenciar una mejora en la estabilidad y fluencia cuando se adiciona fibras acrílicas, hasta alcanzar un 4%, después de pasado este límite la mezcla tiende a rigidizarse, por lo que no se recomienda usar fibras acrílicas mayor al 4% en las mezclas asfálticas de alto módulo.
5. Se comprueba que la fluencia de una mezcla con fibras acrílicas es menor en comparación con la fluencia de una mezcla de alto módulo.
6. Cuando se incorpora el 6% de fibras acrílicas en la mezcla, ésta se rigidiza ocasionando que la prensa Marshall no pueda medir la estabilidad de la briqueta.
7. Mientras aumentamos mayor cantidad de porcentaje de fibras acrílicas la mezcla tiende a disminuir su densidad y aumentar el porcentaje de vacíos, mientras que en comparación con las mezclas convencionales sucede lo contrario, mayor densidad menor cantidad de vacíos.
8. La mejora más significativa se presenta cuando se adhiere el 4% de fibras acrílicas presentándose mejoras en su estabilidad con un incremento del 49,405% y en la fluencia con un incremento de 30,052% en comparación a la mezclas asfáltica convencional. Y analizando una segunda comparación de mezclas de alto módulo con

adición de fibras acrílicas en comparación con mezclas de alto módulo se presenta una mejora de 41,789% en su estabilidad, y en cuanto a su fluencia el 11,872%.

9. Si se aplica un porcentaje igual o mayor al 4% de fibras acrílicas en la mezcla de alto módulo, se obtendrá el aumento de su estabilidad y se reducirá la fluencia, de modo contrario sucede al aplicar porcentajes entre 0,5 y 2% de fibras acrílicas obteniendo un aumento en la estabilidad y la fluencia.





10. La cantidad de vacíos en una mezcla asfáltica de alto módulo es de 4 a 6% según recomendación de la norma AASTHO, al aplicar porcentajes de fibras acrílicas de 1%, 1.5%, 2%, 4% y 6% se obtendrá una mezcla con una cantidad de vacíos mayor al 6% no admitida por norma.

Cuando se aplica 0,5% de fibras acrílicas a las mezclas de alto módulo se obtiene 5,15% de vacíos admitida por la norma AASTHO.

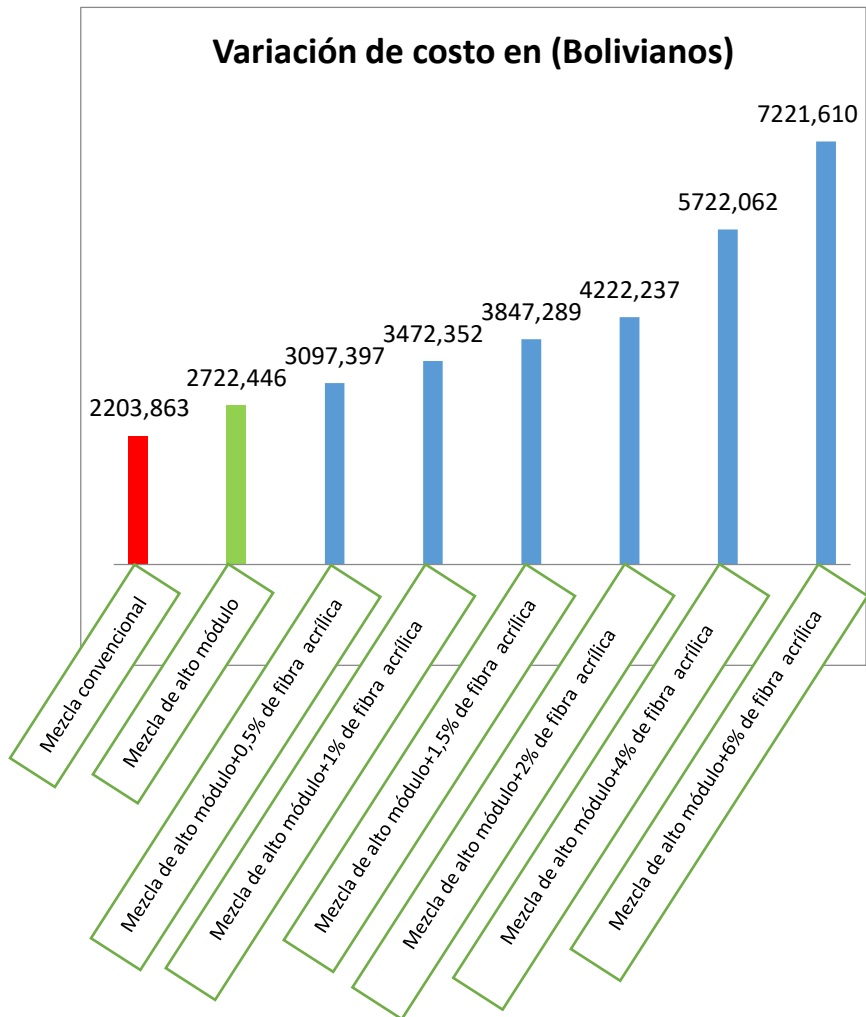
DESCRIPCIÓN	% DE VACIOS
Mezcla asfáltica convencional	4,24
Mezcla asfáltica de alto módulo	5,55
Mezcla asfáltica de alto módulo + 0,5% de fibras acrílicas.	5,15
Mezcla asfáltica de alto módulo + 1% de fibras acrílicas.	6,45
Mezcla asfáltica de alto módulo + 1,5% de fibras acrílicas.	7,7
Mezcla asfáltica de alto módulo + 2% de fibras acrílicas.	9,13
Mezcla asfáltica de alto módulo + 4% de fibras acrílicas.	11,09
Mezcla asfáltica de alto módulo + 6% de fibras acrílicas.	13,84

11. La temperatura de mezclado de las fibras es de 168-141 °C y su compactación es de 149-158 °C, es la temperatura óptima para que las fibras al ser mezcladas se impregnen al agregado de modo que puedan formar una masa homogénea y trabajable.

12. Con el uso de las fibras acrílicas adicionadas a las mezclas de alto módulo se reduce el espesor del pavimento en un 20%, en comparación con las mezclas asfálticas elaboradas con cemento asfáltico convencional.

13. Las mezclas de alto módulo con adición de fibras acrílicas son mezclas poco trabajables en especial cuando se reduce la temperatura a 145°C. Donde la mezcla será de difícil compactación.

14. El incremento en el costo de producción en planta es significativo cuando se utiliza el 0.5, 1%, 1.5%, 2%, 4% y 6% de fibras acrílicas, pero es compensable hasta el 4% al ser un pavimento de larga duración con un periodo de vida útil superior a los 30 años en comparación con un pavimento convencional el cual tiene una vida útil de 10-15 años de servicio. De esta manera se evita realizar el mantenimiento que incluye un costo considerable en las carreteras.



15. Los costos de producción de mezclas asfálticas de alto módulo con adición de fibras acrílicas son elevados llegando a aumentar el precio en un 69,48% cuando se adiciona el 6% de fibras acrílicas. Y en su defecto un 28,85% cuando se adiciona el 0,5% de fibras acrílicas siendo esta última la recomendable para aplicar y obtener un pavimento de larga duración.

	COSTO POR METRO CÚBICO (Bs)			Incremento de costo en (%)	
	Mezcla convenciona 1	Mezcla de alto módulo	Mezcla de alto módulo con fibras acrílicas	Diferencia mezcla de alto módulo vs mezcla de alto módulo con fibras acrílicas	Diferencia Convenciona 1 vs modificado con fibras acrílicas
0,5% de fibras acrílicas	2203,86	2722,4 5	3097,40	12,11	28,85
1% de fibras acrílicas	2203,86	2722,4 5	3472,35	21,60	36,53
1,5% de fibras acrílicas	2203,86	2722,4 5	3847,29	29,24	42,72
2% de fibras acrílicas	2203,86	2722,4 5	4222,24	35,52	47,80
4% de fibras acrílicas	2203,86	2722,4 5	5722,06	52,42	61,48
6 % de fibras acrílicas	2203,86	2722,4 5	7221,61	62,30	69,48

5.2. RECOMENDACIONES

1. En el presente trabajo de grado por disponibilidad de tiempo se realizó 3 briquetas para cada porcentaje de fibras acrílicas añadidos, se recomienda realizar más ensayos para obtener más representatividad en los datos a analizar y evaluar sus propiedades mecánico-resistentes en comparación con las mezclas asfálticas convencionales.
2. Se debe tener en cuenta la temperatura de aplicación y la temperatura de compactado mediante un previo ensayo de viscosidad vs temperatura, para poder aplicar a las mezclas de alto módulo que se fabrican con asfaltos duros de penetración 20-30 y a las mezclas convencionales que se fabrican con asfalto de penetración 85-100.
3. Golpear con el martillo compactador a una velocidad y altura constante debido a que el ensayo Marshall es una práctica pulcra y cuidadosa un pequeño error puede hacer fallar los resultados.
4. No sobrecalentar varias veces el cemento asfáltico debido a que pierde sus propiedades.
5. Para la fabricación de mezclas de alto modulo se requiere de mucha cantidad de partículas retenidas en el tamiz 3/4, se recomienda buscar un banco cercano a la ciudad de Tarija que esté produciendo en mayor cantidad partículas gruesas.