

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Las macrofibras son estructuras unidimensionales, largas y delgadas cuya longitud es muy superior a su diámetro y están orientadas a lo largo de un solo eje y que soportan altas temperaturas. Actualmente, existe mayor el interés en el uso de fibras en obras como túneles, carreteras, shotcrete. Las fibras de acero, polipropileno, vidrio y materiales naturales (celulosa de madera) están disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesores; pueden ser cilíndricas, llanas, onduladas (rizadas) y deformadas (conformadas en los extremos) con una longitud típica de 35,00 mm a 150,00 mm y espesor variando de 0,3 mm a 2,00 mm.

Desde siempre las fibras han representado una alternativa para satisfacer diversas necesidades del hombre. Antiguamente, se dependía exclusivamente de las fibras encontradas en la naturaleza, las cuales, gracias a sus excelentes cualidades, han expandido su gama de utilización.

Durante años en todo el país la construcción de capas de rodamientos en los pavimentos asfálticos se ha realizado mediante mezclas asfálticas tradicionales que están sometidas a la creciente demanda de tránsito, la acción de los agentes atmosféricos y a la presencia de altas y bajas temperaturas, lo cual provoca deterioros en las carreteras.

Por este motivo, se pretende realizar un análisis del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica reforzadas con macrofibras, con el objetivo que esta mezcla pueda ser aplicada en los pavimentos flexibles.

Para ello, es necesario analizar las propiedades y características de la mezcla asfáltica con macrofibras, la cual dependerán esencialmente de la calidad de los componentes que la conforman.

En el campo de la ingeniería vial, se busca constantemente las formas de mejorar los pavimentos debido a su constante desgaste, su envejecimiento prematuro causado por la circulación de servicio, factores climáticos y asentamiento que produce baches y fisuras en los diferentes pavimentos. Para ello, se trata de elaborar una mezcla reforzada con macrofibras las cuales puedan mejorar sus propiedades.

Con este estudio, se pretende realizar un análisis del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas reforzadas con macrofibras, a través de ensayos de laboratorio estandarizados como el Marshall, con el fin de determinar si este material puede ser considerado como alternativa técnica para la elaboración de mezclas asfálticas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las necesidades y exigencias de las ciudades modernas, han procurado que las técnicas actuales en la construcción de caminos cumplan con las demandas de los usuarios y clientes.

Es común ver los pavimentos de las calles de la ciudad con varias fallas en ellos, las cuales tienen que ser atendidos adecuadamente en su debido tiempo. Con este estudio, se pretende conseguir una mezcla asfáltica con macrofibras como una alternativa más, a emplearse en la mezcla de pavimentos flexibles.

En nuestro medio no se ha tomado la importancia necesaria a este tipo de mezcla, por lo cual se carece de información. En este sentido, para elaborar este tipo de mezcla, la presente investigación se basa en las especificaciones proporcionada por la norma AASTHO. De esta forma es fundamental constatar si los materiales de nuestro medio cuentan con las características necesarias para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Por otro lado, es posible realizar el estudio de la mezcla asfáltica con macrofibras, ya que en nuestro medio se cuenta con el material necesario para la investigación, se puede conseguir diferentes tipos de agregados como también tipos de asfaltos los cuales serán los que compondrán la mezcla asfáltica.

Además, se realizará el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica reforzada con macrofibras a través de ensayos de los agregados en laboratorio de suelos y el cemento asfáltico en laboratorio de asfaltos; los cuales nos brindarán los datos necesarios para poder realizar diferentes dosificaciones a la mezcla con macrofibras.

Si se retrocede tiempo atrás en la ciudad de Tarija podremos, se puede observar el cambio abismal que sufrió esta ciudad, pasando de ser un pueblo pequeño, tranquilo con pocas calles pavimentadas y en su mayoría calles de tierra, a ser hoy en día una ciudad en su mayoría con calles pavimentadas y un incremento significativo de circulación vehicular; por lo tanto, este estudio podría brindar un buen servicio a la población.

El trabajo brindará un aporte académico al proceso de investigación que lleva a cabo la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Este consiste en el estudio de la mezcla asfáltica reforzada con macrofibras, y así obtener información de las propiedades y características de esta mezcla, para luego ser evaluadas en base a las especificaciones de las normas; de esta forma comprobar si son aptas para su uso en las mezclas asfálticas.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación problemática

En nuestro país es común observar carreteras construidas con mezclas asfálticas, conformando así la estructura vial de las ciudades, la cual permite la comunicación entre diferentes regiones con un desplazamiento rápido y confiable, con el fin de generar un servicio vial adecuado para el bien de la sociedad actual.

Por otro lado, las principales vías de acceso y avenidas en la ciudad de Tarija se encuentran deterioradas, debido a que en la construcción de las mismas se utiliza mezclas asfálticas convencionales; además no se encuentra con investigaciones para encontrar nuevas técnicas adecuadas que mejoren las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

Otro problema es que con el aumento poblacional se ha ido incrementando la cantidad de tráfico, el tipo de tráfico, así como también la carga del vehículo, es decir, se tiene mayor exigencia al pavimento; por lo tanto, los insumos que se tienen que utilizar en la construcción de estos pavimentos son también de mayor exigencia.

Por esta razón, se busca soluciones que ayuden a mejorar las características de las mezclas asfálticas, mediante un análisis del comportamiento mecánico de una mezcla reforzada con macrofibras, que consiste en tratar de perfeccionar las mezclas asfálticas que se utilizan hoy en día en nuestro medio.

En este sentido se dispone de todos los recursos necesarios para la ejecución de esta investigación y así verificar si esta mezcla podría aplicarse como una alternativa más en la implementación en los proyectos viales en nuestra ciudad.

1.3.2 Problema

¿Se podrá usar las macrofibras como parte de las mezclas asfálticas y de esta manera, ser consideradas como una opción de mezcla en los pavimentos flexibles?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas reforzadas con macrofibras a través del ensayo de Marshall obtener sus propiedades y características, con el fin de determinar si este material puede ser considerado como una alternativa técnica para la elaboración de mezclas asfálticas.

1.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Recopilar toda la información teórica sobre mezclas asfálticas y macrofibras de diferentes fuentes bibliográficas.
- ✓ Identificar el banco de procedencia de los agregados y del asfalto en base a las diferentes plantas en nuestro medio, los cuales serán utilizados en los ensayos de laboratorio.
- ✓ Realizar la caracterización de los materiales, agregados pétreos y del cemento asfáltico.
- ✓ Diseñar las mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall.
- ✓ Realizar la dosificación de la mezcla asfáltica con macrofibras, para determinar sus propiedades mecánicas tales como: estabilidad, fluencia porcentajes de vacíos y densidad de las mezclas asfálticas calientes.
- ✓ Efectuar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre las mezclas asfálticas con macrofibras y una mezcla convencional, a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas.

1.5 HIPÓTESIS

Que la inclusión en diferentes porcentajes de macrofibras como parte de los agregados, mejora las propiedades mecánicas que presenta la mezcla asfáltica, en comparación a las mezclas asfálticas convencionales.

1.6 ALCANCE

La investigación se centra en el estudio de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas densas en caliente continuas a las cuales se añade macrofibras en diferentes porcentajes y por medio de ensayos se establece parámetros de comparación respecto a una mezcla convencional.

La caracterización de los materiales que se utilizaran en esta investigación, se limitará a realizar los ensayos de acuerdo a los quipos disponibles en los laboratorios de la universidad.

Conociendo las características de los materiales a usar, se realizará la dosificación de la mezcla asfáltica con macrofibras a diversos porcentajes del mismo y de este modo, poder someterla a la prensa Marshall para así determinar sus propiedades y características.

Una vez determinadas las propiedades y características de la mezcla, para poder constatar para poder ver si son buenas o malas, se procederá a realizar el análisis de la mezcla en base a los diferentes parámetros que están normados.

Una vez recopilada la información necesaria de la mezcla reforzada con macrofibras, se puede contar con criterios básicos para determinar si dicha mezcla puede atizarse o no.

La finalidad de este estudio es principalmente poder brindar información necesaria sobre la mezcla estudiada, en este caso mezcla reforzada con macrofibras, y que ésta sea una opción a tomar en cuenta al momento de realizar los pavimentos flexibles en la ciudad de Tarija.

1.7 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.7.1 Variables independientes

Macrofibras

Tipos de cementos asfálticos

1.7.2 Variables dependientes

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

1.7.3 Operacionalización de variables

Tabla 1.1. Operacionalidad de variables independientes

Variables independientes	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Medición	Rango de variabilidad
Macrofibras	Son elementos unidimensionales, largas y delgadas cuya longitud es muy superior a su diámetro	Características	Resistencia a tracción	N/mm ²	1115
			Tolerancia	%	7,50
			Longitud	mm	50,00
			Diámetro	mm	1,05
			Esbeltez (l/d)	---	45,00
Cemento asfáltico convencional	Es un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro	Contenido de asfalto	Penetración	0,1 mm	85 - 100
			Viscosidad	mm ² /s	85 min
			Punto de inflamación	°C	230 min
			Peso específico	gr/cm ³	---
			Viscosidad	sSF	85 mni
			Ductilidad	cm	100 min
Cemento asfáltico modificado con polímeros	Es la disolución entre el cemento y el polímero, para modificar sus propiedades físicas y reológicas,	Contenido de asfalto	Penetración	0,1 mm	40 - 70
			Punto de inflamación	°C	235 min
			Peso específico	gr/cm ³	---
			Ductilidad	cm	100 min

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2. Operacionalidad de variables dependientes

Variables dependientes	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Medición	Rango de variabilidad
Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	Se refieren a aquellas propiedades que se manifiestan cuando se aplica una carga de servicio	Ensayo de Marshall	Estabilidad	Lb	> 1800 Lb
			Fluencia	mm	8 - 14
			Vacíos de la mezcla	%	3 % - 5 %
			Densidad	Kg/m ³	---

Fuente: Elaboración propia

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Unidad de estudio

Mezclas asfálticas para la aplicación en pavimentos flexibles.

1.8.2 Población

Mezclas asfálticas con macrofibras.

1.8.3 Muestra

Mezclas asfálticas elaboradas con fracción de macrofibras de acero Dramix 3D, agregado (grava, gravilla y arena), el ligante asfáltico (cemento asfáltico convencional Betunel 85-100 y el modificado Betuflex 60-85).

1.8.4 Muestreo

La muestra de este trabajo de investigación se basa en los diferentes porcentajes de adición de macrofibras a una mezcla asfáltica para pavimentos flexibles, los porcentajes de macrofibras que se adicionarán son de un 0 %, 1 %, 2 %, 4 %, 5 % y 7 %.

1.9 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.9.1 Método

Método inductivo: La inducción es un razonamiento que analiza una porción de un todo; parte de lo particular a lo general, es decir, va de lo individual a lo universal.

La característica de este método es que utiliza 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 se inicia con la observación individual de los hechos, se analiza la conducta y características del fenómeno, se hacen comparaciones, experimentos, etc, y se llega a conclusiones universales para postularlas como leyes, principios o fundamentos.

Asimismo, el método inductivo se caracteriza por tener 4 etapas básicas:

En una primera etapa se deberían observar y registrar todos los hechos y luego analizarlos y clasificarlos ordenadamente. A partir de los datos procesados se deriva una hipótesis que solucione el problema basada en el análisis lógico de los datos procesados. Esta derivación de hipótesis se hace siguiendo un razonamiento inductivo. En la última etapa se deduce una implicación contrastadora de hipótesis. Esta implicación debería ocurrir en el caso de que

la hipótesis sea verdadera, así si se confirma la implicación contrastadora de hipótesis quedará validada la hipótesis principal.

1.9.2 Técnicas

Para analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica elaborada con una proporción de macrofibras, cuyos resultados serán comparados con la mezcla asfáltica convencional, se deberá efectuar los siguientes ensayos:

Caracterización de los agregados

Adquisición y selección de agregados

Granulometría de los agregados

Densidad y porcentaje de vacíos

Gravedad específica y porcentaje de absorción

Desgaste de los ángeles

Equivalente de arena

Determinación de caras fracturadas

Cemento asfáltico

Adquisición del ligante (cemento asfáltico)

Penetración a 25 °C

Viscosidad Saybolt Furol

Punto de inflamación

Peso específico

Ductilidad

Ensayos Marshall

Estabilidad

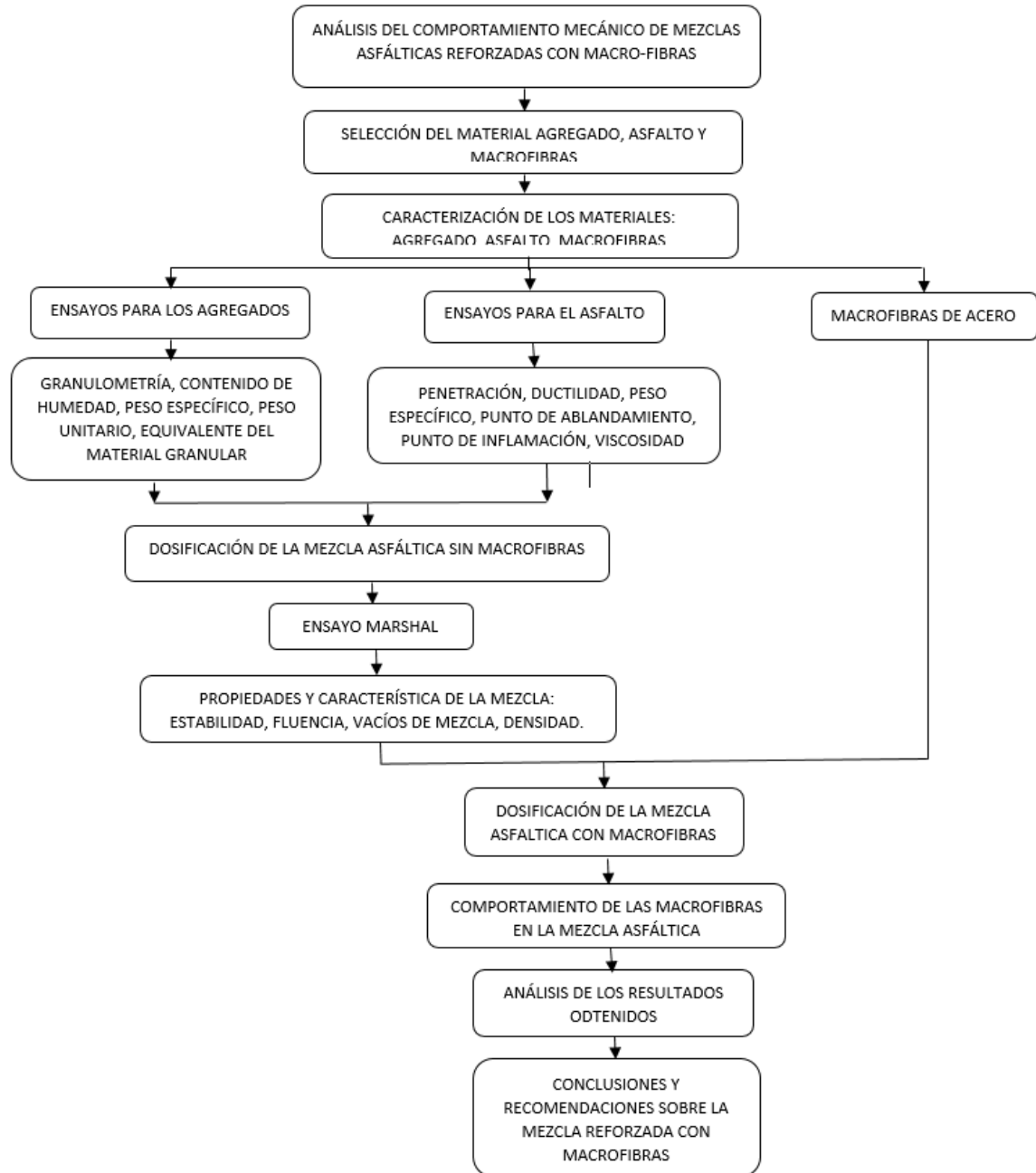
Fluencia

Densidad

Los ensayos se realizan en los laboratorios de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, los mismos cuentan con todo el equipo necesario que se requiere en la presente investigación; los resultados obtenidos serán avalados por los encargados de laboratorio.

1.9.3 Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva

Figura 1.1. Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva



Fuente: Elaboración propia

1.9.4 Análisis de resultados

El programa a utilizar en el análisis de resultados será el Excel, ya que es el más conocido en nuestro medio.

1.9.4.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la técnica matemática que obtiene, organiza, presenta y describe un conjunto de datos con el propósito de facilitar el uso generalmente con el apoyo de tablas, medidas numéricas o gráficas. Además, calcula parámetros estadísticos como las medidas de centralización y de dispersión que describen el conjunto estudiado.

Se usará este procedimiento para describir las características y comportamientos de cada uno y, de forma general, de los grupos de estudio mediante medidas de resumen, tablas y gráficos.

Fórmulas para la estadística descriptiva

Medidas de tendencia

Media: Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Corresponde a la suma de los valores divididos por el tamaño de la muestra, es muy sensible a los valores extremos.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Mediana: Es un conjunto de datos ordenados de mayor a menor, la mediana corresponde al dato central, aquel que deja un 50 % de la información abajo y el otro 50 % es mayor. Es un valor que divide las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos.

$$Me = X_{\frac{n+1}{2}} \quad \text{si } n \text{ es impar}$$

$$Me = \left(X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1} \right) * \frac{1}{2} \quad \text{si } n \text{ es par}$$

Moda: Es el valor o los valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.

Medidas de dispersión

Desviación estándar: Es la raíz cuadrada de la varianza, es la más usada de las medidas de dispersión.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para población}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para muestras}$$

\bar{X} = Media seleccionada; se debe elegir la que tenga menor dispersión.

CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Definición de mezcla asfáltica

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

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros; sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los pavimentos para tráfico pesado intenso. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5 % de polvo mineral (filler) y otro 5 % de ligante asfáltico.

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

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

Existen tres métodos de diseño utilizados para determinar las proporciones adecuadas de asfalto y agregados. Ellos son el método Marshall, el método Hveem y actualmente el método que se utiliza en EEUU es el método SUPERPAVE ya que se considera que la metodología de diseño está basada en pruebas más reales y científicas y no empíricas como las del método Marshall. Debido a las condiciones económicas los países como el nuestro continúan utilizando el método Marshall.

2.1.2 Clasificación de mezcla asfáltica

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

Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas

Clasificación de mezclas asfálticas	Fracción de agregado	Masilla asfáltica
		Mortero asfáltico
		Concreto asfáltico
		Macadam asfáltico
	Temperatura de puesta en obra	Mezclas en caliente
		Mezclas en frío
	Proporción de vacíos	Mezclas densas
		Mezclas semi densas
		Mezclas abiertas
		Mezclas porosas o drenantes
	Tamaño máximo del agregado	Mezclas gruesas
		Mezclas finas
	Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
		Sin esqueleto mineral
	Granulometría	Mezclas continuas
		Mezclas discontinuas

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Características de la mezcla (analizando el método Marshall)

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

2.1.3.1 Densidad

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad, es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta, la cantidad de vacíos es menor

por lo que, el agua no entrará en su interior obteniéndose, de esta manera, una carpeta de rodadura más durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/pie^3), se calcula al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ o $62,416 \text{ lb}/\text{pie}^3$). La densidad patrón obtenida en laboratorio se utiliza como referencia para determinar si la densidad del pavimento compactado en la obra es adecuada o no. Difícilmente en la compactación in-situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto, las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

2.1.3.2 Vacíos de aire

Están presentes entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que éstos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales, debe estar entre 3 % y 5 %. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico.

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

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

2.1.3.3 Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

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

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

2.1.3.4 Contenido de asfalto

El contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran medida, de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas.

Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones de agregado que pasan a través del tamiz de 0,075 mm (N° 200)) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. En caso contrario, al efectuar pequeñas disminuciones de filler, nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda).

Figura 2.1. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica



Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 401

Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a variar de seca a húmeda. La capacidad de absorción del agregado en una mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto.

Técnicamente se habla de dos tipos de asfalto al referirse al asfalto absorbido y el no-absorbido, contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto: cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla.

El contenido efectivo de asfalto: volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

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

2.1.3.5 Vacíos Llenos de Asfalto (VFA)

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

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

2.1.4 Propiedades de las 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, para una aplicación específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado.

2.1.4.1 Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas

Es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito. La carpeta asfáltica debe de ser capaz de mantener su forma y textura ante las secuencias de carga que a diario le son impuestas. La fricción interna depende de la textura superficial, graduación del agregado, forma de la partícula, densidad de la mezcla, y, del contenido y tipo de asfalto. La estabilidad es función de la fricción y la resistencia inter-bloqueada del agregado en la mezcla. Cuando se sobrepasa el nivel óptimo de asfalto, la película es demasiado gruesa y esto genera que la cohesión decrezca, resultando en pérdida de fricción entre las partículas que componen la mezcla asfáltica. Es importante que las partículas que componen el agregado sean angulares y ásperas en su textura superficial, esto dará una alta estabilidad a la mezcla.

Los problemas clásicos debido a una estabilidad baja se detallan a continuación:

Ahuellamiento

Consiste en una depresión continua a lo largo de la capa de rodadura. Las cargas repetitivas de tránsito conducen a deformar permanentemente cualquier capa que componen la estructura del pavimento, sin embargo, cuando la carpeta asfáltica recién colocada presenta ahuellamiento es debido al exceso de asfalto en la mezcla, es decir el óptimo de asfalto se ha sobrepasado y genera, por consiguiente, pérdida de cohesión. El ahuellamiento también es producido por la forma redondeada de la partícula, por la falta de textura áspera, falta de

adherencia y absorción del agregado. Es decir, si una mezcla tiene un óptimo de asfalto y sus agregados no cumplen con las siguientes propiedades tales como: graduación, limpieza, dureza, textura superficial, capacidad de absorción, afinidad con el asfalto, peso específico, también nos generara ahuellamiento y una serie de problemas que desarrollaremos en este capítulo.

Corrimiento

Consiste en el desplazamiento de la mezcla asfáltica provocando distorsiones en la superficie de la carpeta asfáltica, acompañado a veces por levantamiento de material formando “cordones” principalmente laterales. Estos desplazamientos son ocasionados por las cargas de tránsito y son debido al exceso de asfalto, falta de vacíos o bien por falta de confinamiento lateral. La corrugación es una serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección de tránsito, siendo próximas unas de otras, por lo general menores a un metro entre ellas.

Exudación del asfalto

Es el afloramiento del asfalto o ligante asfáltico hacia la superficie de la carpeta asfáltica. Por lo que, se forma una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante las altas temperaturas. Es causado específicamente por un excesivo contenido de asfalto. Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficiente, durante épocas calurosas. El proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, por tal motivo, el asfalto se acumula en la superficie.

2.1.4.2 Durabilidad

Es la propiedad de una mezcla asfáltica para resistir los efectos perjudiciales causados por el agua, aire, temperatura y las cargas debidas al tráfico. Estos efectos perjudiciales provocan desintegración del agregado, cambio en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), envejecimiento, segregación, etc. Puede mejorarse la durabilidad de una mezcla asfáltica de tres maneras:

Utilizando un contenido óptimo de asfalto

Se aumenta la durabilidad de la mezcla ya que las partículas del agregado están cubiertas por una película gruesa de asfalto. Esto evita el envejecimiento y el endurecimiento del asfalto, reteniendo por más tiempo las características originales tanto del asfalto como de

los agregados.

Utilizando una graduación densa

Esto proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, mejorando así la impermeabilidad de la mezcla.

Diseñar y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad

Esto se logra mediante la compactación por medios mecánicos utilizando maquinaria y equipo adecuado.

2.1.4.3 Flexibilidad

Es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamiento, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y subbase. Los asentamientos en el pavimento pueden ocurrir debido a que falle cualquiera de sus componentes, lo cual provoca daños visibles en la carpeta de rodadura. De hecho, todas las estructuras tienden a tener asentamientos diferenciales. Por lo tanto la flexibilidad de las mezclas asfálticas es incrementada agregando mayor contenido de asfalto, hasta llegar al contenido óptimo, a partir de este, si se aumenta en exceso el contenido de asfalto la carpeta tiende a ser extremadamente flexible y provoca entonces una mezcla con estabilidad baja. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos. Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

2.1.4.4 Resistencia a la fatiga

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir la flexión repetida causada por las cargas de tránsito. Si el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Por tal razón, las mezclas asfálticas de graduación densa presentan mayor resistencia a la fatiga que las mezclas asfálticas de graduaciones abiertas. El envejecimiento y endurecimiento del asfalto en la carpeta de rodadura da como resultado menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, influyen determinadamente en la vida útil de una carpeta de rodadura asfáltica. Si la carpeta asfáltica presenta buena resistencia a la fatiga y la subbase está mal

compactada, se verán claramente los asentamientos y la resistencia a la fatiga disminuirá considerablemente. Caso contrario, si la subbase está bien compactada y la carpeta asfáltica presenta mala resistencia a la fatiga, la carpeta se dañará. Por lo anterior, el pavimento debe trabajar en conjunto para que pueda resistir la flexión causada por el tránsito.

A continuación, se detallan algunos daños visibles debido a una mala resistencia a la fatiga:

Fisura piel de cocodrilo

Consiste en una serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de la carpeta asfáltica, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanza su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga. Las fisuras se propagan a la superficie y evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. La fisura piel de cocodrilo es causada por la fatiga que sufre la carpeta de asfáltica al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.

Fisuras en bloque

Son una serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, con diámetro promedio mayor de 30 cm, y un área variable de 0,10 a 9,00 m². Se presentan generalmente en una gran área de la carpeta asfáltica y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico. Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la carpeta asfáltica o en la base y subbase.

La presencia de fisuras en bloques generalmente es un indicativo de que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Fisura transversal

Se refiere a una fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie de la carpeta asfáltica, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0,60 m próximos al borde lateral de la carpeta de rodadura. La contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad; es decir, si una carpeta asfáltica no tiene la capacidad de flexionar repetitivamente la resistencia a la fatiga es menor o nula. Puede ser ocasionado por un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc; particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.

Peladura

Consiste en la desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura de la carpeta asfáltica pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y el clima.

2.1.4.5 Resistencia al fracturamiento por baja temperatura

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no agrietarse en condiciones de bajas temperaturas. Depende principalmente de la rigidez del asfalto a bajas temperaturas.

2.1.4.6 Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad

Es la resistencia al paso de agua y aire hacia el interior o a través de la mezcla asfáltica. La resistencia al daño por humedad se relaciona con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos de aire en la mezcla compactada y, por tanto, con los procesos de oxidación del asfalto, su adherencia y el drenaje del pavimento.

2.1.4.7 Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad de una carpeta asfáltica, particularmente cuando está mojada, de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Esto implica que el neumático debe mantenerse en contacto con las partículas del agregado y no sobre una película de agua en la superficie del pavimento, conocido como hidropelaje. Los agregados con texturas ásperas y contenidos adecuados de asfalto contribuyen en una buena resistencia al deslizamiento. Los contenidos altos de asfalto producen mezclas inestables las cuales tienden a deformarse y exudar, generando así, mayor deslizamiento.

2.1.4.8 Trabajabilidad

Es la facilidad con la cual una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. El asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad; sin embargo, tiene algún efecto sobre esta propiedad.

Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable; mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

2.2 COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.2.1 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico es una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presenta en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro, es producto de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

El asfalto es un material que se puede encontrar en la naturaleza, en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo. Tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente. El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación.

El asfalto ha sido utilizado para la construcción de carreteras desde la antigüedad, ya que tiene ciertas características físicas que le permiten su uso como aglutinante en la mezcla asfáltica. El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, que tiene

las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

Proporciona una fuerte unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

2.2.1.1 Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades

2.2.1.1.1 Penetración (ASTM D 5; AASHTO T49-97)

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

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

2.2.1.1.2 Ductilidad (ASTM D 113; AASHTO T51-00)

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud medida en cm., la cual se alarga antes de romperse, cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se tracciona a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de 25 °C y a una velocidad de 5 cm/min. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

2.2.1.1.3 Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310-01; AASHTO T79-96)

El método define la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de los 70 °C determinado por medio de este método de ensayo.

2.2.1.1.4 Viscosidad Saybolt Furol (AASHTO T201; ASTM D 2170)

Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60 °C, y de cementos asfálticos a 135 °C.

2.2.1.1.5 Densidad (ASTM D 71-94; AASHTO T229-97)

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso del picnómetro a la temperatura requerida.

2.2.1.2 Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tabla 2.2. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración

Pruebas	Grado de penetración									
	40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150		200 - 300	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Penetración a 25 °C (77 °F), 100, 5 seg.	40,00	50,00	60,00	70,00	85,00	100,00	120,00	150,00	200,00	300,00
Punto de inflamación °C (°F)	232,00	-	232,00	-	232,00	-	218,00	-	177,00	-
	450,00		450,00		450,00		425,00		350,00	
Ductilidad a 25 °C (77 °F), 5 cm/min, cm	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-	-	-
Solubilidad en tricloroetileno, porcentaje	90,00	-	90,00	-	90,00	-	90,00	-	90,00	-
Prueba en horno de película delgada (TFO), 3,2 mm (1/8 in), 163 °C (325 °F), 5 horas perdida por calentamiento, porcentaje										
	-	0,80	-	0,80	-	1,00	-	1,30	-	1,50
Penetración del residuo, porcentaje del original	58,00	-	54,00	-	50,00	-	46,00	-	40,00	-
Ductilidad de residuo, a 25 °C (77 °F), 5 cm/min.cm	-	-	50,00	-	75,00	-	100,00	-	100,00	-
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) (ver nota)	Negativo para todos los grados									
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados									
Solvente de nafta-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									
Solvente de heptano-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 223

2.2.2 Agregados

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, usados en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se emplean tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica.

El agregado constituye entre el 90 % y 95 % en peso y entre el 75 % y 85 % en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

2.2.2.1 Ensayos realizados a los agregados

2.2.2.1.1 Granulometría (ASTM E 40; AASHTO T27-99)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Tabla 2.3. Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría

Designación de tamices			
Para agregados gruesos		Para agregados finos	
Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano	Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano
63,00 mm	2 ½ plg	2,36 mm	N° 8
50,00 mm	2 plg	1,18 mm	N° 16
37,50 mm	1 ½ plg	0,60 mm	N° 30
25,00 mm	1 plg	0,30 mm	N° 50
19,00 mm	¾ plg	0,150 mm	N° 100
12,50 mm	1/2 plg	0,075 mm	N° 200
9,50 mm	3/8 plg		
4,75 mm	N° 4		

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 36

2.2.2.1.2 Densidad real, densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos y finos (AASHTO T85; AASHTO T84)

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

Es aplicable a los áridos gruesos y finos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

2.2.2.1.3 Equivalente de arena (ASTM D 2419; AASHTO T176-00)

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por el tamiz N° 4 (4,75 mm).

2.2.2.1.4 Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131; AASHTO T96-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, mediante la máquina de los Ángeles.

2.2.2.1.5 Desintegración de sulfato de sodio (ASTM E 88; AASHTO T104-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los áridos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

2.2.2.1.6 Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso del material que presenta una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

2.2.2.3 Especificaciones que deben cumplir los agregados

2.2.2.3.1 Agregado grueso

Este material debe consistir en grava de buena calidad triturada (retenidos en la malla de 4,75 mm) y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados y llene además los requisitos siguientes:

Tabla 2.4. Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso

Nº	Parámetro	Norma	Especificación
1	Abrasión de los Ángeles	AASHTO T 96	40,00 % máx.
2	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	12,00 % máx.
3	Caras fracturadas	ASTM D 5821	75,00 % min.

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente

2.2.2.3.2 Agregado fino

Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra chancada tamizada, o su combinación y deberá tener una granulometría que (material que pasa la malla 4,75 mm), al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, resulte en una mezcla

satisfactoria la granulometría requerida según AASHTO M 29, incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos siguientes:

Tabla 2.5. Especificaciones que debe cumplir el agregado fino

Nº	Parámetro	Norma	Especificación
1	Índice de durabilidad (fino)	AASHTO T 210	35,00 % min
2	Equivalente de arena	AASHTO T 176	45,00 % min
3	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	12,00 % máx

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente

La graduación del agregado fino será conforme a la siguiente graduación:

Tabla 2.6. Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29

Graduación del agregado fino						
Tamaño de tamiz		Cantidad más fina que pasa cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), Masa, %				
		Graduación Nº 1	Graduación Nº 2	Graduación Nº 3	Graduación Nº 4	Graduación Nº 5
3/8"	9,50 mm	100	-	-	100	100
Nº 4	4,75 mm	95 a 100	100	100	80 a 100	80 a 100
Nº 8	2,36 mm	70 a 100	75 a 100	95 a 100	65 a 100	65 a 100
Nº 16	1,18 mm	40 a 80	50 a 74	85 a 100	40 a 80	40 a 80
Nº 30	0,60 mm	20 a 65	28 a 52	65 a 90	20 a 65	20 a 65
Nº 50	0,30 mm	7 a 40	8 a 30	30 a 60	7 a 40	7 a 46
Nº 100	0,15 mm	2 a 20	0 a 12	5 a 25	2 a 20	2 a 30
Nº 200	0,075 mm	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 10	-

Fuente: Tabla 1 norma AASHTO M 29

2.2.3 Filler (llenante mineral)

El filler consiste en material finamente dividido donde sus partículas pasan a través del tamiz 0,075 mm (Nº 200), generalmente son provenientes de rocas, cal hidratada, cemento hidráulico, cenizas volantes u otro material adecuado.

El filler o llenante mineral es el material que es incorporado a las mezclas asfálticas con el fin de modificar sus propiedades mecánicas y complementar la fracción granulométrica, para generar una mezcla bien gradada y un mejor comportamiento de esta.

2.2.3.1 Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas

Las principales propiedades de las mezclas asfálticas que determinan su calidad se resumen en tres y son: Resistencia ante la deformación, flexibilidad y durabilidad.

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

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

Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica

Se debe a que el filler aumenta de manera importante la viscosidad del asfalto, mejor dicho, la combinación de filler-asfalto es un sistema de alta viscosidad el cual participa de manera importante en la resistencia ante la deformación.

Incrementar la durabilidad de la mezcla

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

2.2.3.2 Ensayos realizados al filler

2.2.3.2.1 Granulometría del filler (ASTM D 246)

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

2.2.3.2.2 Índice de plasticidad (ASTM D 4318; AASHTO T 90)

Este método establece el procedimiento para determinar el índice de plasticidad del material fino (filler).

2.2.3.3 Especificaciones del filler

La granulometría debe cumplir con lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla 2.7. Granulometría que debe cumplir el filler de acuerdo con la norma ASTM

Tamaño del tamiz	Porcentaje pasante (%)
Nº 16 (1,18 mm)	100,00
Nº 30 (600 µm)	97,00 – 100,00
Nº 50 (300 µm)	95,00 – 100,00
Nº 200 (75 µm)	70,00 – 100,00

Fuente: ASTM D 242 (Standard specification for mineral filler for bituminous paving mixtures)

Tabla 2.8. Especificaciones que debe cumplir el filler

Nº	Parámetro	Norma	Especificación
1	Índice de plasticidad	ASTM D 4318 AASHTO T 90	4,00 % máx.

Fuente: ASTM D 242 (Standard specification for mineral filler for bituminous paving mixtures)

2.3 MACROFIBRAS

Las macrofibras estructurales para concreto tienen como usos principales: prevenir la fisuración en estado endurecido, reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0,3 mm a 2,00 mm.

Pisos y Pavimentos

Las macrofibras estructurales en pisos y pavimentos reemplazan la malla electrosoldada que es colocada en el centro del espesor, destinada a absorber los esfuerzos de temperatura y retracción en dichos elementos. Las mallas electrosoldadas se han usado para resolver los esfuerzos secundarios en pisos y pavimentos. Sin embargo, su almacenamiento, transporte y colocación (correcta) ha sido una fuente de dificultades en las obras, por no mencionar la inversión en mano de obra y tiempo. Justamente para resolver estos inconvenientes las macrofibras estructurales logran reemplazar el efecto de la malla. Las macrofibras estructurales en pisos y pavimentos previenen la aparición de fisuras a larga edad (en estado endurecido); si la fisuración tiene lugar, impiden el incremento en el ancho de la misma,

pero más importante aún permiten que la estructura continúe en servicio al aumentar su tenacidad. Este hecho multiplica la vida útil de la estructura.

Prefabricados

Para elementos prefabricados cuyas dimensiones y espesores están optimizados, las fibras han sido desde la década de los setenta un elemento común. El transporte, la colocación de estos elementos hacen que sean susceptibles a desportillamientos, agrietamientos y descascaramientos. Las fibras (micro y macro) en estos casos resultan muy útiles debido a que el agrietamiento de los elementos se reduce y si tiene lugar, le permiten a la unidad continuar funcionando sin desecharla.

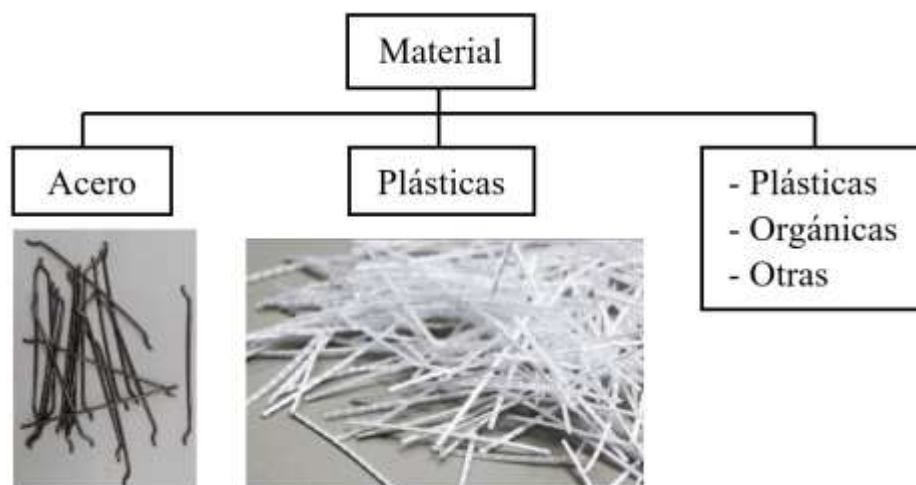
Concreto lanzado

Al igual que en pisos y pavimentos en concreto lanzado las macrofibras estructurales para concreto sustituyen la malla electrosoldada, que en este caso se constituye en parte de la ruta crítica de un ciclo de excavación. Los tiempos de ahorro que representan eliminar la colocación y fijación de la malla justifican ampliamente la diferencia en costo por metro cuadrado del material colocado.

Sin embargo, más allá del aumento en el rendimiento de excavación, el uso de las fibras como refuerzo permite un ahorro muy importante en la cantidad de concreto lanzado debido a que pueden seguirse estrictamente los espesores del concreto colocado.

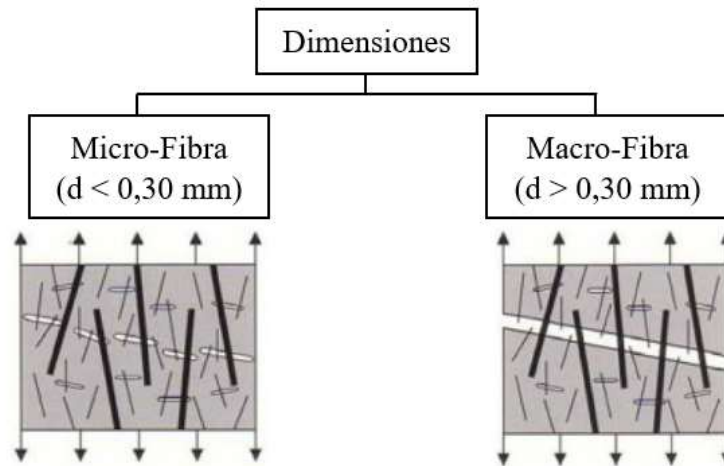
2.3.1 Clasificación de las fibras

Figura 2.2. Clasificación por su material



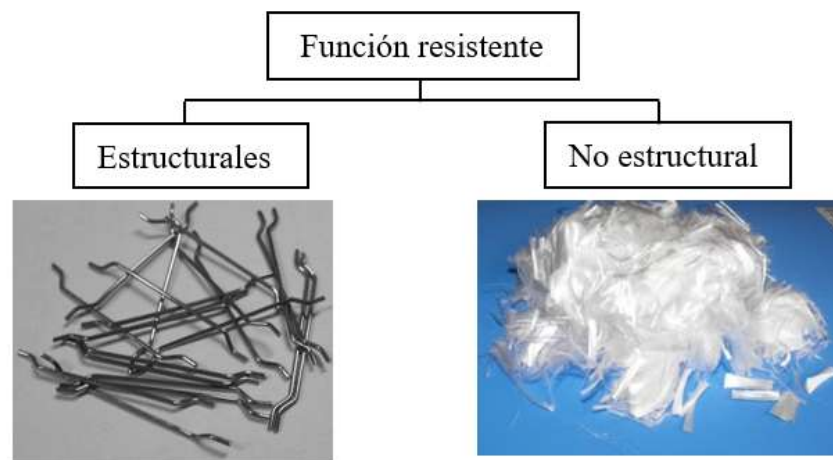
Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3. Clasificación por su dimensión



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.4. Función resistente



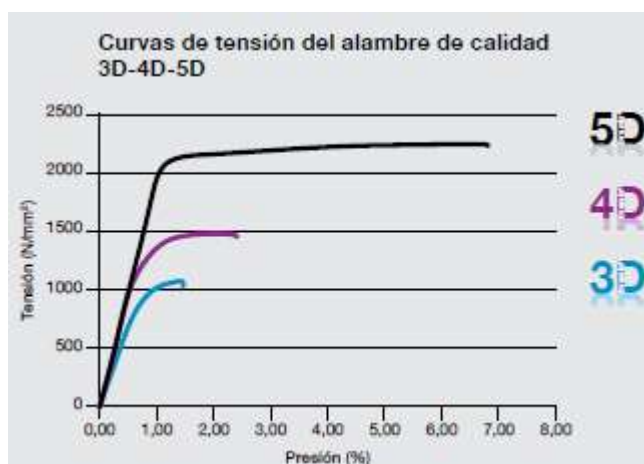
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Características de las fibras

2.3.2.1 Resistencia a tracción

La resistencia a la tracción de las series 5D, 4D y 3D ofrece diferentes niveles de rendimiento en las diferentes aplicaciones. La serie 5D combina una resistencia a la tracción extrema con una capacidad de alargamiento muy específica, proporcionando unos niveles de ductilidad nunca vistos.

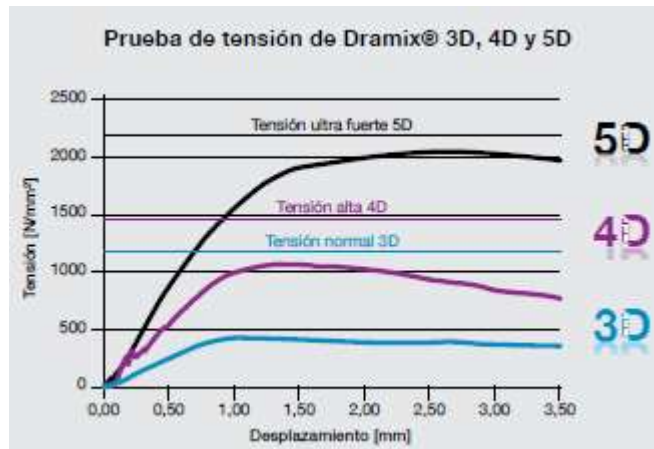
Figura 2.5. Curva de tensión vs presión



Fuente: Guía Dramix 5D, 4D, 3D

La prueba de tensión muestra claramente las diferencias de trabajo de los tres tipos de fibra Dramix®. El gancho en las series 3D y 4D se deforma lentamente durante el proceso de tensión, mientras que el gancho 5D permanece firmemente anclado, pero el alambre se alarga creando mayor ductilidad.

Figura 2.6. Curva de tensión vs presión



Fuente: Guía Dramix 5D, 4D, 3D

2.3.2.2 Resistencia de anclaje

Las terminaciones de gancho de Dramix® 3D aseguran la tensión que se busca en la fibra. El anclaje mejorado de Dramix® 4D utiliza el mismo principio, pero se traduce en una resistencia del acero mayor. Dramix® 5D, por el contrario, se ha formado para conseguir el anclaje perfecto, el mecanismo de tensión se ha reemplazado por el estiramiento de la fibra.

2.3.2.3 Resistencia del alambre

La resistencia a la tracción de una fibra de acero tiene que aumentar paralelamente a la resistencia de su anclaje. Sólo de esta manera la fibra puede resistir las fuerzas que actúan sobre ella.

Por otro lado, un alambre más fuerte no puede utilizarse con un diseño de anclaje común. Por lo tanto, la resistencia a la tracción de una fibra tiene que estar perfectamente alineada con el sistema de su anclaje y con su diámetro. Dramix® 3D, 4D y 5D están diseñadas por separado para sacar el máximo provecho a la resistencia del alambre.

2.3.2.4 Ductilidad del alambre

Dramix® 3D y 4D crean la ductilidad del alambre mediante la deformación lenta del gancho durante el proceso de tensión.

Esto es diferente con Dramix®5D, el alambre se alarga, proporcionando la ductilidad mediante el mismo principio que el refuerzo de acero clásico, lo cual es posible con un alambre de acero dúctil con una calidad superior y excepcional.

Especificaciones técnicas

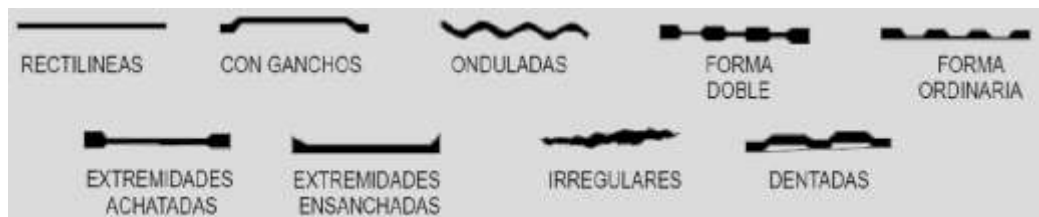
Tabla 2.9. Especificaciones técnicas de las fibras metálicas.

Tipo de fibra	Dramix 3D 65/35 BG	Dramix 3D 45/35 BL	Dramix 3D 45/40 BG-BL	Dramix 4D 55/60 BG-BL	Dramix 5D 65/60 BG-BL
Longitud (l)	35,00 mm	35,00 mm	40,00 mm	60,00 mm	60,00 mm
Diámetro (d)	0,55 mm	0,75 mm	1,05 mm	1,05 mm	0,90 mm
Relación de esbeltez (l/d)	65,00	45,00	45,00	55,00	65,00
Resistencia a la tracción	1345,00 N/mm ²	1225,00 N/mm ²	1115,00 N/mm ²	1500,00 N/mm ²	2300,00 N/mm ²
Presentación	Encolada	Suelta	Suelta	Encolada/ Suelta	Encolada/ Suelta

Fuente: Guía Dramix 5D, 4D, 3D

2.3.3 Características geométricas de las fibras

Figura 2.7. Distintas clasificaciones



Fuente: Guía Dramix 5D, 4D, 3D

Influye principalmente en las condiciones de anclaje análogamente a la armadura traccional en las mezclas.

Figura 2.8. Distintas clasificaciones



Fuente: Guía Dramix 5D, 4D, 3D

Surgen del proceso de fabricación.

2.3.4 Ventajas y desventajas de las macrofibras

Ventajas (H°A°)

- La fibra tiene dobleces en los extremos que permite mejorar la adherencia.
- Alta resistencia a tracción.
- De fácil aplicación.
- Distribución homogénea.
- Aumento de la capacidad de carga.
- Reduce la formación de fisuras.
- Mejor comportamiento a las variaciones de temperatura.
- Mayor resistencia a la fatiga y al impacto.
- Mayor durabilidad del pavimento por tener mejor control de fisura.

Desventajas (H°A°)

- Formación de pelotas de fibras en la mezcla, también conocida como erizos en algo que se debe evitar.

Si aparece fibra de acero en la superficie de la mezcla es normal que se produzca su oxidación, provocando un efecto antiestético.

2.4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÉTODO MARSHALL

2.4.1 Metodología

El método de diseño de mezclas Marshall fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del departamento de autopistas del estado de Mississippi. Posteriormente, el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró el procedimiento de prueba Marshall.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que desarrollará cuando es ensayado a una temperatura de 60 °C. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0,25 mm (1/100”), que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

El método Marshall sólo establece requisitos para la granulometría y los parámetros volumétricos de la mezcla. Los requisitos de calidad del agregado y del asfalto los fijan las dependencias encargadas del desarrollo de la infraestructura.

2.4.2 Propósito de la metodología

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la elaboración de la mezcla.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con un tamaño máximo de 25,00 mm (1 plg) o menor. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

2.4.3 Descripción general

El método Marshall usa muestras de ensayo (probetas) de 64,00 mm (2,50 plg) de espesor por 102,00 mm (4 plg) de diámetro. Una serie de muestras de ensayo, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar la mezcla asfáltica.

Los dos aspectos principales del método de diseño son: análisis de densidad vacíos y el ensayo de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

Preparación para efectuar los procedimientos Marshall

Los agregados y asfaltos presentan diferentes características, que tienen un impacto directo sobre la naturaleza del pavimento. El primer paso en el método de diseño, es determinar las cualidades que se necesita en una determinada mezcla asfáltica, y posteriormente seleccionar el tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

Selección de las muestras de material

La primera preparación para los ensayos consiste en reunir muestras de asfalto y del agregado que van a ser utilizados en la mezcla asfáltica. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple, los datos de los procedimientos de diseño de la mezcla determinan la "receta" para la elaboración de la mezcla final usada en el proceso de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en laboratorio tienen características idénticas a los usados en el producto final.

Preparación del agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va ser usado debe ser ya conocida con el propósito de establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar claramente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico, con la finalidad de preparar una serie de briquetas que tengan diferentes contenidos de asfalto.

Se prepara una dosificación por el método de tanteo, en función de una faja de trabajo que se adecúe al proyecto, y de una granulometría conocida de los agregados disponibles (grava de 3/4", gravilla de 3/8", arena natural y filler).

Como indica el nombre del método, se tantea con diferentes porcentajes de agregado, hasta que se encuentre una combinación que se adecúe de mejor manera posible a la faja de trabajo.

Sabiendo que la muestra final se tiene que elaborar con briquetas con un peso de 1200 gr; se determina el contenido de asfalto en peso equivalente a un porcentaje del peso total' de la briketa, conociendo el peso del agregado que tiene que ocupar cada briketa por la diferencia en peso entre el total de la briketa y el peso del asfalto, se separa una dosificación en pesos retenidos, que aporta cada tamiz.

Se prepara un número determinado de muestras de agregado para cada contenido de asfalto para elaborar un punto en la curva de dosificación Marshall y se separa cada uno en fuentes o bandejas correctamente identificadas.

Es importante mencionar que, para la elaboración del método tradicional de mezcla asfáltica en caliente, el agregado tiene que estar seco, para tal fin, antes de efectuar el pesado se deja el material en horno a 110 °C durante 24 horas.

Preparación de las muestras de ensayo (briquetas)

Las briquetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentos son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, como se mencionó anteriormente. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados de análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

El asfalto y el agregado se calientan por separado y se mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén recubiertas (esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta).

La mezcla se vierte en los moldes pre-calentados, luego se procede a la compactación con el martillo, el número de golpes se especifica en la tabla 2.11. Después de completar la compactación, las briquetas se dejan enfriar para luego proceder a su extracción de los moldes.

2.4.4 Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de cemento asfáltico depende de muchos criterios. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4 %. El rango de vacíos de aire es de 3 % al 5 %. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas Tabla 2.12. Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

2.4.4.1 Granulometría

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior). Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. La Tabla 2.10 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la norma AASHTO.

Tabla 2.10. Granulometrías que deben cumplir los agregados para el diseño Marshall

Granulometría para el diseño Marshall						
Malla en Pulg	Porcentaje por peso que pasa por la malla estándar (AASHTO T 27 Y AASHTO T 11)					
	A	B	C	D	E	F
1 ½"	100					
1"	97 a 100	100	100			
¾"	66 a 80 (5)	97 a 100	97 a 100	100	100	
½"	-	76 a 88	76 a 88 (±5)	97 a 100	97 a 100	
3/8"	53 a 70	-		-	(±5)	100
N° 4	40 a 52	49 a 59	49 a 59 (±7)	57 a 69	(±6)	37 a 47
N° 8	-	-	36 a 45 (±5)	-	-	-
N° 16	25 a 39	36 a 45	(±5)	41 a 49	(±5)	7 a 13
N° 30	12 a 22	20 a 28	(±4)	22 a 30	(±4)	-
N° 40	8 a 16	13 a 21	14 a 22 (±3)	13 a 21	(±3)	-
N° 100	-	-		-	-	-
N° 200	3 a 8	3 a 7	3 a 7	3 a 8	3 a 8	2 a 4

Fuente: Materiales, mezclas asfálticas y técnicas de preservación, división 400, tabla 403-1

2.4.4.2 Golpes de compactación

El proceso de compactación se realiza mediante una serie de golpes con el martillo Marshall sobre ambas caras de la muestra, según el propósito y tránsito esperado de la mezcla que se está diseñando.

Tabla 2.11. Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo

Número de golpes			
Condición de tránsito que resultan en un diseño (millones)	Alto	Medio	Bajo
	> 10 hasta 30	Entre 0,30 hasta 30,00	< 0,30
Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo	75,00	50,00	35,00

Fuente: Materiales, mezclas asfálticas y técnicas de preservación, división 400. Tabla 403-2

2.4.4.3 Parámetros volumétricos de diseño Marshall

La volumetría de la mezcla para encontrar el contenido de asfalto óptimo debe cumplir los parámetros establecidos en las tablas 2.11 y 2.12. El flujo y estabilidad Marshall se tienen que medir de acuerdo con el método AASHTO T 245.

Tabla 2.12. Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 2459)

Criterios para mezclas método Marshall	Tránsito liviano Carpeta y base		Tránsito mediano Carpeta y base		Tránsito pesado Carpeta y base	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	35,00	35,00	50,00	50,00	75,00	75,00
Estabilidad N (lb)	336,00 (750,00)	-	5358,00 (1200,00)	-	8006,00 (1800,00)	-
Flujo, 0,25 mm (0,01 plg)	8,00	18,00	8,00	16,00	8,00	14,00
% de vacíos	3,00	5,00	3,00	5,00	3,00	5,00
% VMA	Ver tabla 2.13					
% VFA	70,00	80,00	65,00	78,00	65,00	75,00

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 414

Tabla 2.13. Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA)

Tamaño máximo en mm		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos de diseño, por ciento		
mm	plg	3,00	4,00	5,00
1,18	N° 16	21,50	22,50	23,50
2,36	N° 8	19,00	20,00	21,00
4,75	N° 4	16,00	17,00	18,00
9,50	3/8	14,00	15,00	16,00
12,50	1/2	13,00	14,00	15,00
19,00	3/4	12,00	13,00	14,00
25,00	1.00	11,00	12,00	13,00
37,50	1,50	10,00	11,00	12,00
50,00	2,00	9,50	10,50	11,50
63,00	2,50	9,00	10,00	11,00

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 415

2.4.5 Ensayos realizados a la mezcla asfáltica compactada

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

2.4.5.1 Determinación de la gravedad específica bulk

El ensayo de gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas, utilizando especímenes saturados superficialmente secos puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado. Este ensayo se desarrolla de acuerdo con la norma AASHTO T 166-05, para la gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas usando especímenes cubiertos con parafina la norma AASHTO T 275 es aplicada. Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizarán pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2 %, se utiliza la norma AASHTO T 166-05, en caso contrario, se recurre a la norma AASHTO T 275.

2.4.5.2 Ensayo de estabilidad y flujo

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

Las briquetas confeccionadas con cemento asfáltico se deben sumergir en un baño María a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Remueva el espécimen de ensayo del baño María y cuidadosamente se secará la superficie. Colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procede a colocar la mordaza superior y se centra

completamente en el aparato de carga. Posteriormente, se aplica la carga de prueba al espécimen a una velocidad constante de 50 ± 1 mm/min (2 plg/min), hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen debe registrarse como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que el ensayo de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía; y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0,25 mm (1/100") será el valor del flujo Marshall. El procedimiento completo de estabilidad y fluencia, comenzando desde el momento en que se retira la probeta del agua, no debe durar más de 30 segundos.

2.4.5.3 Análisis de densidad y vacíos

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se realiza el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de prueba. Resulta conveniente determinar la gravedad específica teórica máxima (AASHTO T 209) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente aquellos que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado se calculará de estos valores. Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (V_a); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1 CRITERIOS A UTILIZARSE

3.1.1 Macrofibras

Las fibras metálicas a emplear para este proyecto de investigación son las que importa la empresa Geomallas con ubicación en la ciudad de Tarija, barrio 6 de agosto, avenida Circunvalación N° 867, entre calles Santa Cruz y Segundino Ugarte, única sucursal en Bolivia de la empresa Beakeart de origen alemán, cuya marca de fibras es Bramix 3D.

Tabla 3.1. Propiedades de las fibras de acero

Rendimiento de Dramix 3D 45/40						
Propiedades del material			Geometría		Red de fibra	
Resistencia a tracción	Rm, nom	1115,00 N/mm ²	Gama de fibras	3D	Km por m ³	2,90 km/m ³ para 20,00 kg/m ³
	Tolerancia	± 7,50 % promedio	Longitud (l)	40,00 mm		
Módulo de Young	± 210000,00 N/mm ²		Diámetro (d)	1,05 mm	Fibras/kg	2802,00
			Proporción (l/d)	45,00	Dosificación mínima	20,00 Kg/m ³

Fuente: Guía Dramix 3D

Figura 3.1. Fibras Dramix 45/40

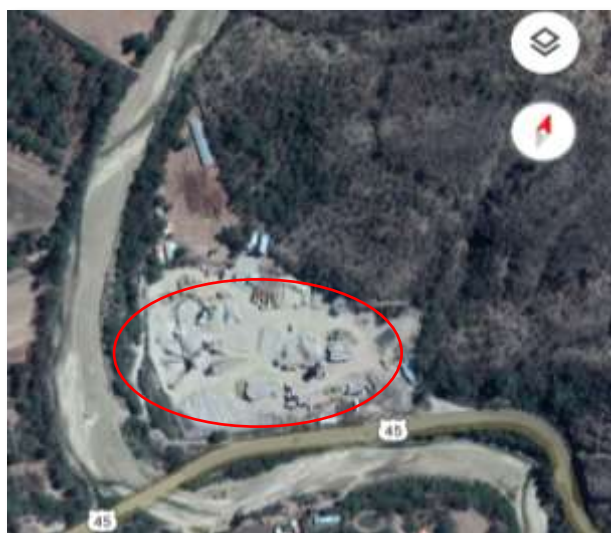


Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Criterios de selección del banco de materiales

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales ubicados en diferentes ríos de esta zona los cuales proporcionan seguridad para el diseño que se realice, para la presente investigación se utilizara los agregados de la chancadora de Charaja la cual provee áridos a SEDECA, la misma cuenta con una gran cantidad de áridos que cumple con las especificaciones propuestas por las normas ASTM y AASHTO.

Figura 3.2. Zona de muestreo chancadora de (Charaja)



Fuente: Elaboración propia

La planta de acopio de agregados de la chancadora de Charaja se encuentra ubicada en el Km 45 carretera a Uriondo - Chaguaya, en la comunidad de Charaja de la provincia Arce.

Figura 3.3. Agregado pétreo



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Criterios de selección de asfalto

El cemento asfáltico que se utiliza para los ensayos es el convencional 85-100 y el modificado 60-85 de industria brasilera. Es un producto de buena calidad que actualmente es usado por el Servicios Departamental de Caminos (SEDECA) en los diferentes proyectos que se ejecutan en nuestro departamento.

Tabla 3.2. Especificación técnica del cemento asfáltico convencional Betunel 85-100

Especificaciones técnicas formulario c-1 (llenado por la entidad)-ensayos de verificación de calidad de material solicitando (ensayos AASHTO)	Límites	Método	Encontradas
Penetración a 25 °C, 100 gr, 0,1 mm (T-201)	85 a 100	NBR-6576/ASTM D5/AASHTO T201	91
Viscosidad Saybolt furol a 135 °C seg (T-72)	85 min	NBR-14950/ASTM D88/AASHTO T72	120
Ensayo de mancha 20 % heptaxilol (T-102)	Negativo	ASTM D2770/AASHTO T102	Negativo
Punto de ablandamiento °C (T-53)	43 a 46	NBR-6560/ASTM D36/AASHTO T53	45
Ductilidad a 25 °C 5 cm/min cm (T-51)	100 min	NBR-6293/ASTM D113/AASHTO T51	> 100
Viscosidad Brookfield a 135 °C	214 min	NBR-15184/ASTM D4402/AASHTO T316	290
Viscosidad Brookfield a 150 °C	97 min	NBR-15184/ASTM D4402/AASHTO T316	152
Viscosidad Brookfield a 177 °C	28 a 114	NBR-15184/ASTM D4402/AASHTO T316	58
Temperatura de mistura °C	Indicativo	Cálculo	141 a147
Temperatura de compactación °C	Indicativo	Cálculo	130 a 136
Índice de penetración de pfeiffer	-1,5 a 0,5	Cálculo/Cálculo	-1,10
Punto de inflamación C.O.C °C (T-48)	230 min	NBR-11341/ASTM D92/AASHTO T48	235
Solubilidad en tricloroetileno (T-44)	99 min	NBR-14855/ASTM D2042/AASHTO T44	99,9
Densidad a 25 °C C/25 °C (T-228)	0,99 min	NBR-6296/AASHTO T228	1,012

Ensayos sobre el residuo película delgada (TFOT) 32 mm, 163 °C (AASHTO T240)

(R) TFOT-Pérdida de masa (T-240)	1 max	NBR-15235/ASTM D2872/AASHTO T240	0,41
(R) TFOT-Penetración del residuo % de la penetración	50 min	Cálculo	55,00
(R) TFOT-Perdida por calentamiento (t-179) %	1 max	Cálculo/AASHTOT-179	0,42
Densidad a 25 °C c/25 °C (T-228)	1 a 1,05	NBR-6296/AASHTO T228	1

Fuente: Especificaciones técnicas del fabricante

Tabla 3.3. Especificación técnica del cemento asfáltico modificado STRATURA Betuflex 60-85

Descripción	Método AASHTO ASTM	Ensayos		Especificaciones	
		1	2	ABC 60/85 (B)	
Peso específico 25 °C	T-228	1009	1006	-	
Penetración a 25 °C, 100 gr 5 seg	T-49	57	57	40-70	
Punto de inflación copa abierta de Cleveland °C	T-48	305	342	min 235	
Punto de ablandamiento °C	T-53	67	68	min 60	
Recuperación elástica a 25 °C (%)	T-301	97	97	min 85	
Ductilidad a 25 °C y 5 (cm/min), (cm)	T-51	150	150	min 100	
Viscosidad brookfield a 135 °C (centistokes)	TP-48	1520	1630	max 3000	
Viscosidad brookfield a 155 °C (centistokes)	D-2161	699	705	max 2000	
Viscosidad brookfield a 177 °C (centistokes)	D-2161	304	308	max 1000	
Estabilidad de almacenamiento	Penetración (0,1 mm)	T-49	3	2	max 9
	Punto de ablandamiento (°C)	T-53	4	4	max 5
	Recuperación elástica (%)	T-301	3	2	-
Ensayos sobre el residuo de la película delgada (RTFOT)	Cambio de masa (%)	T-179	0,19	0,16	max 1
	Penetración (% ret. Original)	T-49	82	83	min 60
	Punto de ablandamiento (°C)	T-53	-2	-3	RED-5 AUM-7
	Recuperación elástica (%)	T-301	85	85	min 80

Fuente: Especificaciones técnicas del fabricante

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Los agregados pétreos a utilizar en la investigación, provienen de la planta chancadora de Charaja ubicada en la comunidad de Charajas.

Los materiales empleados en los diseños de mezclas asfálticas deben cumplir ciertas especificaciones propuestas por las normas ASTM y AASHTO; para lo cual se realizarán los ensayos de caracterización que se detallan a continuación.

Todos los ensayos se realizarán de acuerdo al manual técnico para el diseño de carreteras propuesta por la ABC la misma que se basa en las normas ASTM y AASHTO.

3.2.1 Ensayo de granulometría (AASTHO T-27); (ASTM C-1236)

Figura 3.4. Proceso de tamizado del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y fino de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas.

Se entiende por granulometría o análisis granulométrico de un agregado todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños; de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregados en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentaje retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de los valores de material (granulometría).

Las mallas de prueba que se usan comúnmente para los proyectos de carreteras son aquellas con abertura de 2½", 2", 1½", 1, ¾", ½, 3/8" de pulgada cuadrada para las fracciones grandes y con N° 4, N° 10, N° 40, N° 80, N° 100 y N° 200 para las fracciones más pequeñas. Estas últimas mallas se designan como N° 4, N° 10, etc.

A la porción de material agregado que queda retenido en la malla N° 10 (esto es, con partículas mayores de 2,00 mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que pasa por la malla N° 10, pero queda retenido en la malla N° 200 (partículas mayores que 0,075) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla N° 200 se llama fino y corresponde a impurezas, limos y arcillas.

Granulometría de agregados pétreos de la chancadora (Charaja)

Tabla 3.4. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 1

Peso total seco	5000,00 gr		1000,00 gr		500,00 gr	
Tamiz	Grava (Charaja)		Gravilla (Charaja)		Arena (Charaja)	
N°	Peso Ret	% que pasa	Peso Ret	% que pasa	Peso Ret	% que pasa
1"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	355,00	92,90	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	4410,00	11,80	0,00	100,00	0,00	100,00
3/8"	4925,00	1,50	20,00	98,00	0,00	100,00
N° 4	4985,00	0,30	810,00	19,00	3,00	99,40
N° 8	4985,00	0,30	995,00	0,50	89,40	82,12
N° 16	4985,00	0,30	995,00	0,50	188,30	62,34
N° 30	4985,00	0,30	995,00	0,50	262,00	47,60
N° 40	4985,00	0,30	995,00	0,50	329,40	34,12
N° 100	4985,00	0,30	995,00	0,50	387,40	22,52
N° 200	4985,00	0,30	995,00	0,50	436,60	12,68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 2

Peso total seco	5000,00 gr		1000,00 gr		500,00 gr	
Tamiz	Grava (Charaja)		Gravilla (Charaja)		Arena (Charaja)	
N°	Peso Ret	% que pasa	Peso Ret	% que pasa	Peso Ret	% que pasa
1"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	300,00	94,00	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	4365,00	12,70	0,00	100,00	0,00	100,00
3/8"	4900,00	2,00	24,20	97,58	0,00	100,00
N° 4	4985,00	0,30	793,40	20,66	5,40	98,92
N° 8	4985,00	0,30	998,30	0,17	86,10	82,78
N° 16	4985,00	0,30	998,30	0,17	179,00	64,20
N° 30	4985,00	0,30	998,30	0,17	249,00	50,20
N° 40	4985,00	0,30	998,30	0,17	317,00	36,60
N° 100	4985,00	0,30	998,30	0,17	380,00	24,00
N° 200	4985,00	0,30	998,30	0,17	435,60	12,88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 3

Peso total seco	5000,00 gr		1000,00 gr		500,00 gr	
Tamiz	Grava (Charaja)		Gravilla (Charaja)		Arena (Charaja)	
N°	Peso Ret	% que pasa	Peso Ret	% que pasa	Peso Ret	% que pasa
1"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	327,50	93,45	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	4387,50	12,25	0,00	100,00	0,00	100,00
3/8"	4912,50	1,75	22,10	97,79	0,00	100,00
N° 4	4985,00	0,30	801,70	19,83	6,60	98,68
N° 8	4985,00	0,30	996,65	0,33	79,20	84,16
N° 16	4985,00	0,30	996,65	0,33	173,30	65,34
N° 30	4985,00	0,30	996,65	0,33	246,70	50,66
N° 40	4985,00	0,30	996,65	0,33	317,50	36,50
N° 100	4985,00	0,30	996,65	0,33	381,40	23,72
N° 200	4985,00	0,30	996,65	0,33	433,30	13,34

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles (AASTHO T-96); (ASTM C-131)

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

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están en la superficie, como son los materiales de base y carpetas asfálticas, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.

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

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37,50 mm (1 ½”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19,00 mm (¾”), por medio de la máquina de los Ángeles.

Los aparatos y procedimiento para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-96 y ASTM C-131.

Figura 3.5. Proceso del ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

Desgaste de agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.7. Datos y resultados del ensayo de desgaste para la grava 3/4" (Charaja)

Gradación B Carga abrasiva con 11 esferas a 32,50 rpm, revoluciones		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
3/4"	1/2"	2500,00
1/2"	3/8"	2500,00
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,70 mm)		3975,90
Diferencia		1024,10

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1024,10}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 20,48 \%$$

Tabla 3.8. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8" (Charaja)

Gradación C		
Carga abrasiva con 8 esferas a 32,50 rpm, revoluciones		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada
3/8"	1/4"	2500,00
1/4"	N° 4	2500,00
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,70 mm)		3615,00
Diferencia		1385,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1385}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 27,70 \%$$

3.2.3 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración (AASTHO T-104); (ASTM C-88)

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfuro de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climatológicos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran ciclos de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales precipitaban en los vacíos del agregado. En la reinmersión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada.

El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de

10 % a 20 % para cinco ciclos de inmersión-secado. Para el presente ensayo se utilizó el sulfato de sodio.

Los aparatos y procedimiento para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-104 y ASTM C-88.

Figura 3.6. Colocando las muestras en los recipientes para posteriormente agregar el sulfato de sodio



Fuente: Elaboración propia

Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos a los agregados pétreos

Tabla 3.9. Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso (Charaja)

Granulometría				Peso de materiales	
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Material	Antes ensayo (gr)	Después ensayo (gr)
1"	1"	3/4"	100,00	303,70	295,30
3/4"	3/4"	1/2"	95,10	300,40	296,60
1/2"	1/2"	3/8"	34,50	300,70	296,20
3/8"	3/8"	N° 4	25,96	300,00	295,90
N° 4	N° 4	N° 8	10,90	300,00	297,10

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de cálculo para el tamizado 3/4"

$$\text{Pérdida por diferencia} = \text{Peso antes ensayo} - \text{Peso después ensayo}$$

Pérdida por diferencia = 8,40 gr

% Pasa al tamiz = %Tamiz Pasa-%Tamiz Retenido

%Pasa al tamiz = 4,90 %

$$\% \text{ de pérdida respecto al tamiz} = \frac{\text{Pérdida por diferencia}}{\text{Peso antes del ensayo}} * 100 \%$$

% de pérdida respecto al tamiz = 2,77 %

$$\% \text{ de p.r. a muestra total} = \frac{\% \text{ pérdida respecto tamiz}}{100} * \frac{\% \text{ Pasa}}{100} * 100 \%$$

% de pérdida respecto a la muestra total = 0,14 %

Para las demás muestras de cada tamiz se efectúa la misma memoria de cálculo, a continuación, se presenta la tabla de resultados.

Tabla 3.10. Resultados del ensayo de durabilidad para el agregado grueso (Charaja)

Tamiz N°	pérdida por diferencia (gr)	% pasa al tamiz más fino	% pérdida respecto tamiz	% pérdida respecto muestra total
1"	8,40	4,89	2,77	0,14
3/4"	3,80	60,92	1,26	0,77
1/2"	4,50	8,31	1,50	0,12
3/8"	4,10	14,94	1,37	0,20
N° 4	2,90	10,95	0,00	0,00
total % pérdida de peso				1,23

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ Total de pérdida (Grueso)} = \sum \% \text{ de pérdida respecto a la muestra total}$$

% Total de pérdida (Grueso) = 1,23 %

Tabla 3.11. Datos del ensayo de durabilidad para el agregado fino (Charaja)

Granulometría			Pesos materiales		
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz ret.	Material	Antes Ensayo (gr)	Después Ensayo (gr)
3/8"	3/8"	N° 4			
N° 4	N° 4	N° 8	40,00	100,00	99,30
N° 8	N° 8	N° 16	31,50	100,00	98,50
N° 16	N° 16	N° 40	19,00	100,00	99,50
N° 40	N° 40	N° 100	11,40	100,00	98,20
N° 100	N° 100			0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Para el agregado fino se realiza la misma memoria de cálculo mostrada anteriormente, a continuación, se presenta la tabla de resultados.

Tabla 3.12. Resultados del ensayo de durabilidad para el agregado fino (Charaja)

tamiz n°	pérdida por diferencia (gr)	% pasa al tamiz más fino	% pérdida respecto tamiz	% pérdida respecto muestra total
N° 4	0,70	40,00	0,70	0,28
N° 8	1,50	31,50	1,50	0,47
N° 16	0,50	19,00	0,50	0,10
N° 40	1,80	11,40	1,80	0,21
N° 100	0,00	0,00	0,00	0,00
total % pérdida de peso				1,05

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{Total de pérdida (Fino)} = \sum \% \text{ de pérdida respecto a la muestra total}$$

$$\% \text{Total de pérdida (Fino)} = 1,05 \%$$

$$\% \text{Total de pérdida} = \% \text{Total pérdida (Gruoso)} + \% \text{Total de pérdida (Fino)}$$

$$\% \text{Total de pérdida} = 1,70 \%$$

3.2.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASTHO T-85); (ASTM C-127)

Este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Para este ensayo se realizó la medición del peso específico para la gravilla 3/8" y para la grava 3/4"

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 °C – 110 °C. Después se la sumerge en agua y se la seca, además se secan las partículas redondas sobre un pañoa continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturación con superficie seca (S.S.S.).

Posteriormente, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se especifica su peso sumergida en el agua, a una temperatura ambiente de 25 °C.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-85 y ASTM C-127.

Figura 3.7. Proceso del peso sumergido



Fuente: Elaboración propia

Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.13. Datos del ensayo de peso específico para el agregado grueso (Charaja)

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
A (Peso en el aire de la muestra seca)	2478,80	2409,00	2475,70	
B (Peso en el aire muestra saturada-superficie seca)	2504,00	2433,00	2500,00	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua	1564,00	1524,00	1585,00	
Peso canastillo sumergido en agua	0,00	0,00	0,00	
C (Peso sumergido en agua de la muestra saturada)	1564,00	1524,00	1585,00	
D = B - C	940,00	909,00	915,00	
E = A - C	914,80	885,00	890,70	
F = B - A	25,20	24,00	24,30	
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2,71	2,72	2,78	2,74
Peso específico a granel (gr/cm ³)	2,64	2,65	2,71	2,66
Peso específico saturado y superficie seca (gr/cm ³)	2,66	2,68	2,73	2,69
(%) Porcentaje de absorción	1,02	1,00	0,98	1,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A-C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,71 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B-c}$$

$$\text{Peso específico a granel} = 2,64 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico saturado y superficie seca} = \frac{B}{B-C}$$

$$\text{Peso específico saturado y superficie seca} = 2,66 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{B-A}{A} * 100 \%$$

$$\% \text{ de Absorción} = 1,02 \%$$

Tabla 3.14. Datos del ensayo de peso específico para agregado medio (Charaja)

Muestra N°	Peso muestra Seca "A" (gr)	Peso muestra Saturada con sup. Seca "B" (gr)	Peso muestra Saturada dentro del agua "C" (gr)	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturada con sup. Seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	absorción (%)
1	4918,30	5000,00	3102,50	2,59	2,64	2,71	1,66
2	4917,90	5000,00	3109,00	2,60	2,64	2,72	1,67
3	4917,70	5000,00	3103,50	2,59	2,64	2,71	1,67
PROMEDIO				2,60	2,64	2,71	1,67

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Ensayo de peso específico y absorción de agua del agregado fino (AASTHO T-84); (ASTM C-128)

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un período de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es la relación entre el peso del agua correspondiente a su volumen aparente; este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-84 y ASTM C-128.

Figura 3.8. Determinando el peso específico de la arena



Fuente: Elaboración propia

Ensayo de peso específico y absorción de agua de los agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.15. Datos del ensayo de peso específico del agregado fino (Charaja)

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Matraz	1,00	2,00	3,00	
Temperatura	25,00	25,00	25,00	
Peso de la muestra (gr)	500,00	500,00	500,00	
Peso del matraz (gr)	200,90	195,70	197,20	
Peso del matraz + agua + muestra(gr)	1006,30	993,50	998,30	
W (Peso del agua agregado al matraz)	313,60	314,10	313,80	
A (Peso de la muestra secada al horno)	492,20	494,20	494,20	
V (Volumen del matraz)	500,00	500,00	500,00	
P. E. a Granel (gr/cm ³)	2,65	2,66	2,65	
P. E. Saturado con sup. seca (gr/cm ³)	2,68	2,69	2,69	2,69
P. E. Aparente (gr/cm ³)	2,74	2,74	2,74	2,74
(%) Porcentaje de absorción	1,58	1,71	1,75	1,68
				2,70

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V-W}$$

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

$$\text{Peso específico saturado y sup. seca} = \frac{500}{V-W}$$

$$\text{P.E.A. Saturado superficial seco} = 2,68 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,74 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{500-A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de Absorción} = 1,58 \%$$

3.2.6 Ensayo de peso unitario de los agregados (AASTHO T-19); (ASTM C-29)

El peso unitario de unos áridos dados puede determinarse como el volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello, se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido.

Los volúmenes empleados son normalmente 0,10 – 0,50 1,00 pies³ (2,83 -14,16 - 28,31litros), según el tamaño de los áridos ensayados.

Para medir el peso unitario con áridos sueltos se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos en un recipiente lleno.

Para medir el peso compactado, se llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonado según el tamaño de los áridos en el ensayo.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T19 y ASTM C29.

Figura 3.9. Realizando el ensayo de peso unitario del agregado 3/8”



Fuente: Elaboración propia

Ensayo de peso unitario de los agregados pétreos (Charaja)

Tabla 3.16. Datos y resultados del ensayo de peso unitario de la grava $\frac{3}{4}$ (Charaja)

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	Peso muestra + Recipiente	gr	20290,00	20080,00	20105,00
	Peso del recipiente	gr	5725,00	5725,00	5725,00
	Peso del agregado seco	gr	14565,00	14355,00	14380,00
	Volumen recipiente	cm ³	9890,00	9890,00	9890,00
	Peso unitario seco	gr/cm ³	1,47	1,45	1,45
	Promedio	gr/cm ³	1,46		
Peso unitario compactado	Peso muestra + Recipiente	gr	20900,00	20765,00	20803,00
	Peso del recipiente	gr	5725,00	5725,00	5725,00
	Peso del agregado seco	gr	15175,00	15040,00	15078,00
	Volumen recipiente	cm ³	9890,00	9890,00	9890,00
	Peso unitario seco	gr/cm ³	1,53	1,52	1,52
	Promedio	gr/cm ³	1,53		
Peso unitario de la grava		gr/cm ³	1,49		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{peso del agregado seco}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{14565}{9890}$$

$$\text{Peso unitario} = 1,47 \text{ gr/cm}^3$$

Para los demás ensayos se realizó el mismo procedimiento de cálculo.

Tabla 3.17 Datos y resultados del peso unitario de la gravilla 3/8" (Charaja)

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	Peso muestra + Recipiente	gr	6900,00	6875,00	6883,00
	Peso del recipiente	gr	2610,00	2610,00	2610,00
	Peso del agregado seco	gr	4290,00	4265,00	4273,00
	Volumen recipiente	cm ³	3010,00	3010,00	3010,00
	Peso unitario seco	gr/cm ³	1,43	1,42	1,42
	Promedio	gr/cm ³	1,42		
Peso unitario compactado	Peso muestra + Recipiente	gr	7215,00	7175,00	7203,00
	Peso del recipiente	gr	2610,00	2610,00	2610,00
	Peso del agregado seco	gr	4605,00	4565,00	4593,00
	Volumen recipiente	cm ³	3010,00	3010,00	3010,00
	Peso unitario seco	gr/cm ³	1,53	1,52	1,53
	Promedio	gr/cm ³	1,52		
Peso unitario de la gravilla		gr/cm ³	1,47		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18 Datos y resultados del peso unitario de la arena (Charaja)

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	Peso muestra + Recipiente	gr	7240,00	7270,00	7250,00
	Peso del recipiente	gr	2610,00	2610,00	2610,00
	Peso del agregado seco	gr	4630,00	4660,00	4640,00
	Volumen recipiente	cm ³	3010,00	3010,00	3010,00
	Peso unitario seco	gr/cm ³	1,54	1,55	1,54
	Promedio	gr/cm ³	1,54		
Peso unitario compactado	Peso muestra + Recipiente	gr	8070,00	7965,00	8025,00
	Peso del recipiente	gr	2610,00	2610,00	2610,00
	Peso del agregado seco	gr	5460,00	5355,00	5415,00
	Volumen recipiente	cm ³	3010,00	3010,00	3010,00
	Peso unitario seco	gr/cm ³	1,81	1,78	1,80
	Promedio	gr/cm ³	1,80		
Peso unitario de la arena		gr/cm ³	1,67		

Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Ensayo de equivalente de arena (AASTHO T-176); (ASTM D-2419)

El ensayo de equivalente de arena y agregados finos asigna un valor empírico a la cantidad relativa, figura y características del material fino que está presente en una muestra de ensayo granular que pasa el tamiz N° 4 (4,75 mm). El equivalente de arena es una relación de la altura de arena con respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. Primeramente, se debe de tener una muestra del material y tamizarlo por el tamiz N° 4, posteriormente colocarlo en un recipiente.

Luego se debe de vaciar la muestra de arena en el cilindro; se vierte la muestra en el cilindro con la ayuda de un embudo y hacer momento del cilindro para que se puedan perder todas las burbujas que tenga, dejar en reposo durante 10 minutos.

Posteriormente se coloca el tubo irrigador en la parte superior del cilindro y se lava el material de las paredes del cilindro. Se deja el cilindro y el contenido en reposo por 20 min \pm 15 segundos, se debe medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador. Al final los 20 minutos del periodo de sedimentación, se lee y anota los niveles alcanzados.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-176 y ASTM D-2419.

Figura 3.10. Mezcla de la arena con la solución para el equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

Datos obtenidos en la práctica:

Tabla 3.19. Datos y resultados del ensayo de equivalente de arena

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	9,50	12,50	76,00
2	9,50	12,30	77,24
3	9,30	12,00	77,50
Promedio			76,91

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Se utiliza el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{9,50}{12,50} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 76,91 \%$$

3.2.8 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados (ASTM D-5821)

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

La muestra para el ensayo debe ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtiene mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida.

Se esparce la muestra en un área suficientemente grande para inspeccionar cada partícula. Si es necesario, se lava el árido sucio. Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.

A continuación, se separa con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula de árido redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como “partícula fracturada”. Una partícula se considera como fracturada cuando un 20 % o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser

únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimiento mecánicos.

Luego se pesa las partículas fracturadas y se registra este valor.

Figura 3.11. Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.20. Datos y resultados del ensayo del porcentaje de cara fracturadas

Tamaño del agregado		Muestra retenida	Material triturado	Material natural	Mat. C/ caras Fract. D (%)	Material natural
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	A (gr)	B (gr)	C (A-B)		E (%)
1"	3/4"	1500,70	1257,70	243,00	83,81	16,19
3/4"	1/2"	1200,10	1021,40	178,70	85,11	14,89
1/2"	3/8"	300,10	234,20	65,90	78,04	21,96
PROMEDIO					82,32	17,68

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

A= peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo.

B= peso con material con caras fracturadas para cada tamaño.

C= peso con material natural para cada tamaño.

$$C=A-B$$

$$C=1500,70-1257,70 = 243,00 \text{ gr}$$

D= representa el porcentaje de las caras fracturadas para cada tamaño.

$$D=\frac{B}{A} * 100$$

$$D=\frac{1257,70}{1500,70} * 100 = 83,81 \%$$

3.2.9 Resultados del agregado

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

Tabla 3.21. Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos

Ensayo	AASHTO	Agregado	Especificación	Resultado
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	T-96	Grava	40 % max	20,48
Durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración	T-104	Grava	12 % max	1,23
		Arena	12 % max	1,05
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	T-85	Grava	-	2,74
Peso específico y absorción de agua del agregado fino	T-84	Arena	-	2,69
Peso unitario de los agregados	T-19	Grava	-	1,49
		Gravilla	-	1,47
		Arena	-	1,67
Equivalente de arena	T-176		45 % min	76,91
Porcentaje de caras fracturadas	NTL 358	Grava	75 % min	82,32

Fuente: Elaboración propia

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Para realizar el diseño óptimo, se realizó la evaluación y la caracterización del cemento asfáltico 85-100 y el 60-85, los mismos que se detallan a continuación.

3.3.1 Ensayo de penetración (AASTHO T49-97) (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 lleva a cabo a 25 °C durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 gramos; aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas. Es evidente que cuanto más blando sea el betún asfáltico, mayor será la cifra que indique su penetración. Luego se coloca una muestra a calentar en un recipiente hasta que esté fluido y se lo vierte en los moldes.

Se deja enfriar por una hora a temperatura ambiente y se la coloca en baño María por una hora a 25 °C.

Una vez transcurrido 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 específico.

Finalmente, se lee y anota la distancia expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASTHO T49-97 y en el ASTM D-5.

Figura 3.12. Penetración de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Datos obtenidos del ensayo:

Tabla 3.22. Datos y resultados del ensayo de penetración C.A (85-100)

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 5seg AASHTO T- 49	Lectura N° 1	0,1 mm	96,00	95,00	94,00
	Lectura N° 2	0,1 mm	87,00	92,00	97,00
	Lectura N° 3	0,1 mm	97,00	87,00	81,00
	Promedio	0,1 mm	93,33	91,33	90,67
Penetración promedio		0,1 mm	91,78		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Promedio de la muestra 1:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{Lec1} + \text{Lec2} + \text{Lec3}}{3}$$

$$\text{Promedio} = \frac{96,00 + 87,00 + 97,00}{3}$$

$$\text{Promedio} = 93,33 \text{ mm}$$

Promedio de las tres muestras:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{Prom1} + \text{Prom2} + \text{Prom3}}{3}$$

$$\text{Promedio} = \frac{93,33 + 91,33 + 90,67}{3}$$

$$\text{Promedio} = 91,78$$

Tabla 3.23. Datos y resultados del ensayo de penetración C.A (60-85)

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 5seg AASHTO T- 49	Lectura N° 1	0,1 mm	58,00	53,00	47,00
	Lectura N° 2	0,1 mm	53,00	48,00	49,00
	Lectura N° 3	0,1 mm	56,00	51,00	50,00
	Promedio	0,1 mm	55,67	50,67	48,67
Penetración promedio		0,1 mm	51,67		

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Ensayo de punto de inflamación (AASTHO T-48); (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.

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

Para este ensayo, se llena la copa con el cemento asfáltico y se aplica calor, inicialmente, de tal manera que se incremente la temperatura; luego se pasa la llama de ensayo a través del centro de la copa. Se registra como punto de inflamación, a temperatura cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie.

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de punto de inflamación se describen en el Método AASTHO T-18 y en el ASTM D-92.

Figura 3.13. Punto de inflamación en proceso de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Datos obtenidos:

Tabla 3.24. Datos del ensayo punto de inflamación C.A (85-100)

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	263,00	258,00	261,00
Infiltración promedio		261,00		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{ensayo1} + \text{ensayo2} + \text{ensayo3}}{3}$$

$$\text{Promedio} = \frac{263,00 + 258,00 + 261,00}{3}$$

$$\text{Promedio} = 261,00 \text{ °C}$$

Tabla 3.25. Datos del ensayo punto de inflamación C.A (60-85)

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	273,00	284,00	276,00
Infiltración promedio		278,00		

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Ensayo de peso específico del asfalto (AASHTO T-43); (ASTM D-70)

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. Como ejemplo, una sustancia con un peso específico de 1,6 pesa 1,6 veces más que el agua.

Hay dos razones las cuales se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas.

El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios de aire) de un pavimento compactado.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-43 y ASTM D-70.

Figura 3.14. Picnómetro más muestra a 25 °C



Fuente: Elaboración propia

Datos:

Tabla 3.26. Datos y resultados del ensayo de peso específico C.A (85-100)

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 2
Peso picnómetro	gr	33,7	32,81	33,98
Peso picnómetro + agua (25 °C)	gr	81,5	78,87	81,06
Peso picnómetro + muestra	gr	64,8	61,61	61,29
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	81,7	79,06	81,25
Peso específico	gr/cm ³	1,005	1,004	1,004
Promedio	gr/cm ³	1,004		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

a = Peso picnómetro

b = Peso del picnómetro más agua

c = Peso del picnómetro más cemento asfáltico

d = Peso del picnómetro, cemento asfáltico y agua

$$\text{Peso específico C.A.} = \frac{(c-a)}{(b+a)+(d-c)} * 0,997077$$

$$\text{Peso específico CA.} = \frac{(61,29\text{gr}-33,98\text{gr})}{(81,06\text{gr}-33,98)-(81,25\text{gr}-61,29\text{gr})} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del cemento asfáltico} = 1,004 \text{ gr/cm}^3$$

De la misma manera se calcula el peso específico del cemento asfáltico con los datos de los ensayos 1 y 2.

Resultado:

El resultado final del peso específico del cemento asfáltico será el promedio de los tres ensayos realizados.

Peso específico del C.A = 1,004 gr/cm³

Tabla 3.27. Datos y resultados del ensayo de peso específico C.A (60-85)

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio
Peso Picnómetro	gr	38,07	38,07	
Peso Picnómetro + Agua (25 °C)	gr	62,87	62,87	
Peso Picnómetro + Muestra	gr	55,28	52,60	
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	62,87	63,00	
Peso Específico	gr/cm ³	0,997	1,006	1,002

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Ensayo punto de ablandamiento (ASTHO T-53); (ASTM D-36)

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

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, con el fin de comparar resultados. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de

dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación, se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

Los procedimientos y equipos a utilizar se describen con detalle en los métodos AASTHO T53 y ASTM D36.

Figura 3.15. Muestra calentando a baño María



Fuente: Elaboración propia

Datos:

Tabla 3.28. Datos y resultados del ensayo de punto de ablandamiento C.A (85-100)

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	44,00	47,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Se realizó un promedio de ambas muestras y se obtuvo como resultado del ensayo 45,50°C.

Tabla 3.29. Datos y resultados del ensayo de punto de ablandamiento C.A (60-85)

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	75,00	74,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

Se realizó un promedio de ambas muestras y se obtuvo como resultado del ensayo 74,50°C.

3.3.5 Ensayo ductilidad (AASHTO T51-00); (ASTM D-113)

La ductilidad es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. La ductilidad es medida mediante una prueba de "extensión", en donde una probeta de cemento asfáltico es expandida o estirada a una velocidad y una temperatura especificada. Salvo indicación contraria, el ensayo se realizará a una temperatura de 25 °C \pm 0,50 °C y a una velocidad de 5,00 cm/min \pm 5,00 %.

Los procedimientos y equipos a utilizar se describen con detalle en los métodos AASHTO T51 y ASTM D-113.

Figura 3.16. Muestra calentando a baño María



Fuente: Elaboración propia

Datos:

Tabla 3.30. Resultados del ensayo de ductilidad del C.A (85-100)

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad	cm	91,00	120,00	141,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

Se realizó un promedio de ambas muestras y se obtuvo como resultado 117,33 cm.

Tabla 3.31. Resultados del ensayo de ductilidad del C.A (60-85)

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad	cm	105,00	100,00	111,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Se realizó un promedio de ambas muestras y se obtuvo como resultado 105,33 cm

3.3.6 Ensayo viscosidad Saybolt Furol (AASTHO T-27); (ASTM D-88)

viscosidad cinemática de asfaltos líquidos (betunes), aceite para caminos (road oil) y residuos de destilación de asfaltos líquidos (betunes) todos a 60 °C (140 °F) y de cementos asfálticos a 135 °C (275 °F) en un rango de 6 a 100 000 mm²/s (cSt).

Se mide el tiempo para un volumen fijo de líquido que fluye a través de una vena capilar de un viscosímetro de vidrio, calibrado bajo una altura de carga exactamente reproducible y a una temperatura estrictamente controlada. La viscosidad cinemática se calcula entonces multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

Los procedimientos y equipos a utilizar se describen con detalle en los métodos AASTHO T27 y ASTM D-88.

Figura 3.17. María Ensayo viscosidad Saybolt Furol



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.32. Resultados del ensayo viscosidad Saybolt Furol C.A (85-100)

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Viscosidad	sSF	133,80	135,10

Fuente: Elaboración propia

Calculos:

Se realizó un promedio de ambas muestras obteniendo como resultado 134,50 sSF

3.3.7 Resultados de los ensayos realizados al cemento asfáltico

Se presenta los resultados obtenidos de la recolección de información, los mismos que siguen las especificaciones propuestas por la norma AASHTO.

Tabla 3.33. Resultados de los ensayos de caracterización del C.A (85-100)

Ensayo	Norma	Especificaciones		Resultado
		Mínimo	Máximo	
Peso específico	AASHTO T-43	0,99	-	1,004
Punto de ablandamiento	AASHTO T-53	43,00	46,00	45,50
Punto de inflamación	AASHTO T-48	230,00	-	261,00
Penetración	AASHTO T-49	85,00	100,00	91,78
Ductilidad	AASHTO T-51	100,00	-	117,33
Viscosidad	AASHTO T-27	85,00	-	134,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.34. Resultados de los ensayos de caracterización del C.A (60-85)

Ensayo	Norma	Especificaciones		Resultado
		Mínimo	Máximo	
Peso específico	AASHTO T-43	-	-	1,002
Punto de ablandamiento	AASHTO T-53	60,00	-	74,50
Punto de inflamación	AASHTO T-48	235,00	-	278,00
Penetración	AASHTO T-49	40,00	70,00	51,67
Ductilidad	AASHTO T-51	100,00	-	105,00

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 COMBINACIÓN DE AGREGADOS

A continuación, se presentan los resultados de la granulometría de los agregados para realizar la combinación.

Agregados pétreos (Charaja)

Tabla 4.1. Granulometría de grava (Charaja) de 3/4"

N°	% que pasa por tamiz										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 40	N° 100	N° 200
1	100,00	92,90	11,80	1,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
2	100,00	94,00	12,70	2,00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
3	100,00	93,45	12,25	1,75	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Prom	100,00	93,45	12,25	1,75	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2. Granulometría de gravilla (Charaja) de 3/8"

N°	% que pasa por tamiz										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 40	N° 100	N° 200
	100,00	100,00	100,00	98,00	19,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
2	100,00	100,00	100,00	97,58	20,66	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
3	100,00	100,00	100,00	97,79	19,83	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Prom	100,00	100,00	100,00	97,79	19,83	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3. Granulometría de la arena triturada (Charaja)

N°	% que pasa por tamiz									
	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 40	N° 100	N° 200
1	100,00	100,00	100,00	99,40	82,12	62,34	47,60	34,12	22,52	12,68
2	100,00	100,00	100,00	98,92	82,78	64,20	50,20	36,60	24,00	12,88
3	100,00	100,00	100,00	98,68	84,16	65,34	50,66	36,50	23,72	13,34
Prom	100,00	100,00	100,00	99,00	83,02	63,96	49,49	35,74	23,41	12,97

Fuente: Elaboración propia

4.2 Combinación de agregados pétreos para el diseño (mezcla convencional)

Para el diseño de la mezcla convencional, se realizó una combinación de agregados provenientes de la constructora de Charajas, para lo cual se ha determinado que la faja granulométrica de mezcla es de tipo C de las especificaciones de la norma AASHTO.

Para el diseño de dicha faja se mezcló los agregados gruesos y finos mediante tanteos, haciendo variar los porcentajes de cada material de manera que la curva granulométrica esté dentro de los parámetros establecidos por las especificaciones.

De acuerdo a los resultados, se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 20 % de grava de 3/4", 33 % de gravilla de 3/8" y 47 % de arena.

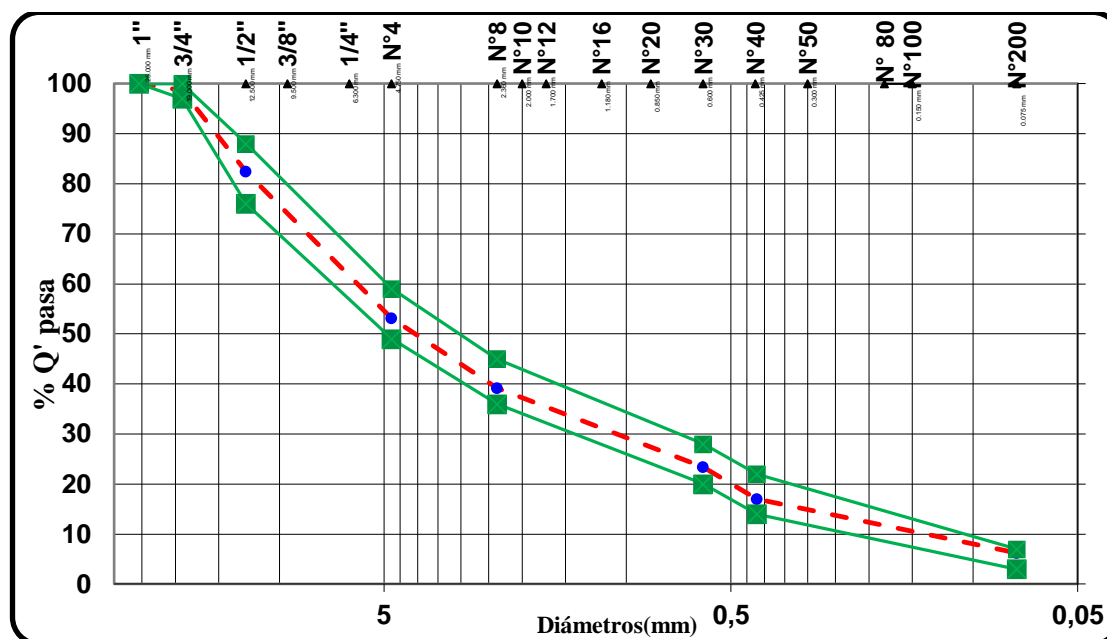
La gráfica que se muestra a continuación resulta de esta combinación de agregados con los porcentajes mencionados anteriormente.

Tabla 4.4. Dosificación de agregados pétreos

Agregado		Grava (Charaja)		Gravilla (Charaja)		Arena (Charaja)		% que pasa	Faja C	
% usado		20%		33%		47%			Especif. Grad.	
Tamices		% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.		Inf.	Sup.
Pulg	mm									
1"	25,40	100,00	20,00	100,00	33,00	100,00	47,00	100,00	100	100
3/4"	19,10	93,45	18,69	100,00	33,00	100,00	47,00	98,69	97	100
1/2"	12,50	12,25	2,45	100,00	33,00	100,00	47,00	82,45	76	88
3/8"	9,50	1,75	0,35	97,79	32,27	100,00	47,00	79,62		
N° 4	4,75	0,30	0,06	19,83	6,54	99,00	46,53	53,13	49	59
N° 8	2,36	0,30	0,06	0,33	0,11	83,02	39,02	39,19	36	45
N° 16	1,18	0,30	0,06	0,33	0,11	63,96	30,06	30,23		
N° 30	0,60	0,30	0,06	0,33	0,11	49,49	23,26	23,43	20	28
N° 40	0,43	0,30	0,06	0,33	0,11	35,74	16,80	16,97	14	22
N° 100	0,15	0,30	0,06	0,33	0,11	23,41	11,00	11,17		
N° 200	0,08	0,30	0,06	0,33	0,11	12,97	6,09	6,26	3	7

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1. Curva granulométrica de agregados pétreos



Fuente: Elaboración propia

4.3 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON C.A (85-100) Y (60-85).

4.3.1 Dosificación de los especímenes (briquetas)

Para la determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 15 briquetas mediante el método de Marshall, con porcentajes diferentes de cemento asfáltico y así conocer el porcentaje óptimo a utilizar.

Tabla 4.5. Peso de los agregados a diferentes porcentajes de C.A (85-100)

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
Porcentaje de agregado (%)	95,50	95,00	94,50	94,00	93,50
Peso del cemento asfáltico (gr)	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr)	229,20	228,00	226,80	225,60	224,40
Peso de gravilla (gr)	378,18	376,20	374,22	372,24	370,26
Peso de arena (gr)	538,62	535,80	532,98	530,16	527,34
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

La tabla mostrada anteriormente presenta las cantidades de agregados y cemento asfáltico con las que se realizará el diseño y así poder obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico.

4.3.2 Desarrollo de la elaboración de las briquetas

Antes de preparar la mezcla asfáltica, se debe calentar el conjunto de molde y la base de compactación a una temperatura entre 100 °C -150 °C. Por un lado, se pesa en fuentes los distintos tipos de los agregados calculados para una briqueta de 1200 gr, por otro lado, se calienta el cemento asfáltico a una temperatura superior a 100 °C, hasta que esté fluido.

Luego se mezcla los agregados con el cemento asfáltico, y se agita durante el calentamiento de la mezcla para evitar sobrecalentamientos locales y evitar un envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica.

Cuando la mezcla haya alcanzado los 140 °C, se debe vaciar con una cuchara en el molde abierto, previamente pasado con un poco de aceite, para el desmolde de briqueta y un papel filtro en la base, para que la muestra se pueda quitar fácilmente después de haber enfriado.

El molde tiene un diámetro interior de 4", la compactación se hace usando un martillo de 10 lb de peso, el martillo tiene una altura de caída libre de 18".

Para el diseño de la mezcla se aplican 75 golpes por cada cara de la briqueta, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas, con las dosificaciones indicadas en la Tabla 4.13.

Finalmente, se extraen las muestras con la ayuda de un gato hidráulico.

Figura 4.2. Proceso de elaboración de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3. Briquetas finalizadas



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Ensayo de Marshall

Una vez extraídas las briquetas de los moldes, se procede 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 del 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.

Posteriormente 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 $100\text{ }^{\circ}\text{F}$). se deberá calentarse en baño de agua hasta alcanzar la temperatura indicada. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior se deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero.

Se coloca la briqueta en las mordazas y se 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 4.4. Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia



Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica

A continuación, se desarrollará el proceso de cálculo para una briqueta, en el cual se indicará paso a paso cómo se obtuvo los resultados que posteriormente se muestra en una tabla.

La demostración de cálculo se realiza con las briquetas elaboradas con el 4,50 % de cemento asfáltico.

4.3.4.1 Identificaciones de briquetas

Para la identificación de las briquetas, se las enumeró en el caso del porcentaje en estudio 4,50 % se identificó como 1, 2 y 3.

4.3.4.2 Altura de las briquetas

Después de la compactación de las briquetas con el martillo, se extrae de los moldes y se deja enfriar para posteriormente realizar las mediciones de la altura con el vernier, obteniendo cuatro alturas de cada briqueta.

Para el porcentaje de asfalto de 4,50 %, sus alturas correspondientes son las siguientes:

Identificación	Altura (cm)	Promedio de altura (cm)
1	6,50	6,51
	6,50	
	6,50	
	6,54	
2	6,30	6,30
	6,30	
	6,30	
	6,40	
3	6,24	6,26
	6,36	
	6,29	
	6,26	

4.3.4.3 Porcentaje de asfalto

Base de la mezcla: Se toma el valor del porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas.

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

$$\text{Base del agregado} = \frac{4,50 * 100}{100 - 4,50}$$

Base del agregado= 4,17

4.3.4.4 Peso de la briqueta al aire

El peso en el aire se obtiene pesando directamente las briquetas en una balanza.

Identificación	Peso (gr)
1	1206,20
2	1190,40
3	1194,80

4.3.4.5 Peso de la briqueta en el aire saturada superficialmente seco (SSS)

Se mide el peso de la briqueta SSS saturando la briqueta en el agua durante 30 min. a 25 °C y secándola superficialmente.

Identificación	Peso (gr)
1	1210,10
2	1193,40
3	1198,00

4.3.4.6 Peso de la briqueta sumergida en agua

El peso sumergido se mide cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25 °C.

Identificación	Peso (gr)
1	688,00
2	681,00
3	684,00

4.3.4.7 Volumen de la briqueta

Vol. briqueta=Peso S.S.S.-Peso sumergido

Vol. briqueta=1210,10 - 688,00

Vol. briqueta= 522,10 cm³

Cálculo realizado para la briqueta identificada como “1”

4.3.4.8 Densidad de la briqueta

Densidad real.

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

$$\text{Densidad real} = \frac{1210,10}{522,10}$$

$$\text{Densidad real} = 2,31 \text{ kg/cm}^3$$

Densidad máxima teórica de la briqueta.

$$D_{\text{maxT}} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{asfalto}}{\text{Peso esp asf}}\right) + \left(\frac{100 - \% \text{asf}}{\text{Peso esp agr grueso}}\right)}$$

$$D_{\text{maxT}} = \frac{100}{\left(\frac{4,5}{1,004}\right) + \left(\frac{100 - 4,5}{2,70}\right)}$$

$$D_{\text{maxT}} = 2,51 \text{ kg/cm}^3$$

4.3.4.9 Porcentaje de vacíos

Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

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

$$V_v = \left(\frac{2,51 - 2,32}{2,51}\right) * 100$$

$$V_v = 7,66 \%$$

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM)

$$V_{\text{AM}} = \left(\frac{\% \text{ de asf} * \text{Dens prom}}{\text{Peso esp del asf}}\right) + V_v$$

$$V_{\text{AM}} = \left(\frac{4,50 * 2,51}{1,004}\right) + 7,66 \%$$

$$V_{\text{AM}} = 18,05 \%$$

Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

$$R_{\text{BV}} = \left(\frac{V_{\text{AM}} - V_v}{V_{\text{AM}}}\right) * 100$$

$$R_{\text{BV}} = \left(\frac{18,05 - 7,66}{18,05}\right) * 100$$

$$R_{\text{BV}} = 57,58 \%$$

4.3.4.10 Estabilidad y fluencia

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Fluencia
1	921,00	150,00
2	992,00	160,00
3	878,00	160,00

Se debe realizar la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall.

Estabilidad

$$\text{Carga} = (\text{Lectura dial} * 0,012 - 0,0812) * 102 * 2,2$$

$$\text{Carga} = (921 * 0,012 - 0,0812) * 102 * 2,2$$

$$\text{Carga} = 2461,60 \text{ lb}$$

Identificación	Estabilidad (dial)	Carga(lb)
1	921,00	2461,85
2	992,00	2653,04
3	878,00	2346,06

Corrección por altura

El factor de corrección por la altura para las briquetas se lo realiza con la tabla que se encuentra en anexos.

Identificación	Factor de corrección	Estabilidad real(lb)
1	0,96	2363,37
2	1,01	2687,53
3	1,02	2402,36
Estabilidad promedio		2484,21

$$\text{Estabilidad real corregida} = \text{Carga} * \text{Factor de c}$$

$$\text{Estabilidad real corregida} = 2461,85 * 0,96$$

$$\text{Estabilidad real corregida} = 2363,37 \text{ lb}$$

Fluencia

$$\text{Fluencia } 1/100 = (\text{Lectura dial} / (25,4))$$

$$\text{Fluencia } 1/100 = (150 / (25,4))$$

$$\text{Fluencia } 1/100 = 5,91$$

Identificación	Factor de corrección
1	7,48
2	7,09
3	7,48
Promedio	7,35

Nota: De igual manera se realiza los cálculos para los demás datos, a continuación, se presenta una planilla general de cálculos y resultados.

Tabla 4.6. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional (85-100)

PESOS ESPECÍFICOS			% de agregado	
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,72	46,87		
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,69	53,13		
Peso Específico Total	2,703	100		

Número de golpes 75	
Cemento asfáltico betunel 85-100	
Peso específico del ligante aashto T-228	1,0040

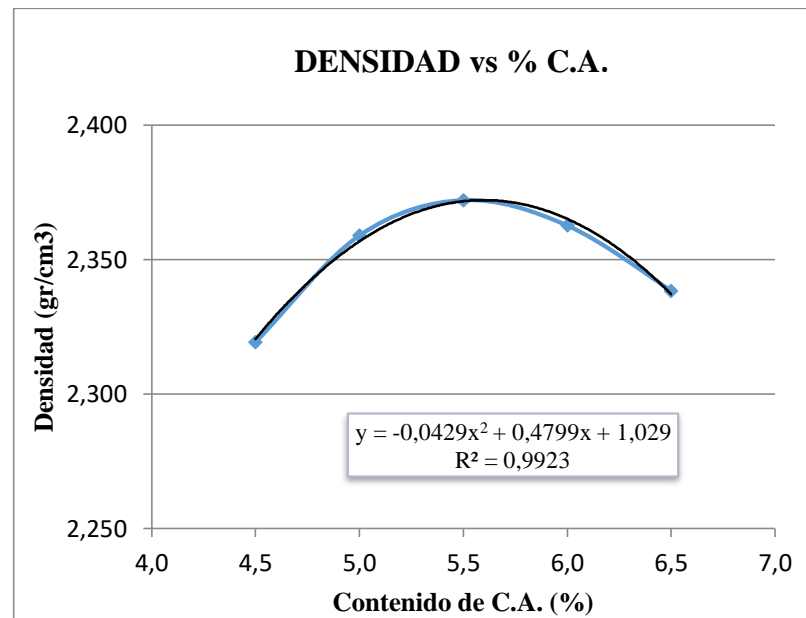
Agregado	P.E.	%
Grava	2,74	20,00
Gravilla	2,71	33,00
Arena	2,69	47,00
Filler	0	0

N° de probeta	altura de probeta	% de Asfalto		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia			
		base Mezcla	base Agregados	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	fluencia real	Fluencia promedio
		%	%	gr	gr	gr		cc	gr/cm3	gr/cm3	gr/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg
1	6,51	4,50	4,71	1206,20	1210,10	688,00	522,10	2,31	2,32	2,51	7,66	18,05	57,58	921,00	2461,85	0,96	2363,37	2484,42	150	0,059	6,17	
2	6,30			1190,40	1193,40	681,00	512,40	2,32						992,00	2653,04	1,01	2687,53		160	0,063		
3	6,26			1194,80	1198,00	684,00	514,00	2,32						878,00	2346,06	1,02	2402,36		160	0,063		
4	6,23	5,00	5,26	1193,60	1195,60	687,00	508,60	2,35	2,36	2,49	5,35	17,09	68,72	1156,00	3094,66	1,03	3193,68	3142,41	180	0,071	7,09	
5	6,26			1197,10	1200,10	689,00	511,10	2,34						1181,00	3161,98	1,02	3237,86		170	0,067		
6	6,25			1156,80	1159,50	675,00	484,50	2,39						1090,00	2916,93	1,03	2995,69		190	0,075		
7	6,29	5,50	5,82	1183,80	1185,20	687,00	498,20	2,38	2,37	2,47	4,08	17,07	76,11	1130,00	3024,64	1,02	3073,04	3113,12	240	0,094	9,06	
8	6,30			1185,10	1186,50	687,00	499,50	2,37						1150,00	3078,50	1,01	3118,52		230	0,091		
9	6,25			1184,45	1185,35	685,00	500,35	2,37						1145,00	3065,03	1,03	3147,79		220	0,087		
10	6,30	6,00	6,38	1193,20	1194,40	687,00	507,40	2,35	2,36	2,45	3,72	17,84	79,15	987,00	2639,57	1,01	2673,89	2587,49	300	0,118	12,07	
11	6,12			1171,40	1172,50	679,00	493,50	2,37						942,00	2518,40	1,07	2682,09		310	0,122		
12	6,33			1182,30	1183,45	683,00	500,45	2,36						896,00	2394,53	1,01	2406,50		310	0,122		
13	6,22	6,50	6,95	1190,20	1190,80	684,00	506,80	2,35	2,34	2,44	3,97	19,11	79,21	687,00	1831,73	1,04	1895,84	1895,17	360	0,142	14,04	
14	6,28			1188,20	1188,70	680,00	508,70	2,34						624,00	1662,09	1,02	1693,67		350	0,138		
15	6,23			1186,20	1186,90	678,00	508,90	2,33						761,00	2031,00	1,03	2095,99		360	0,142		
ESPECIFICACIONES				Mínimo							3,00	13,00	65,00						1800			8,00
				Máximo							5,00	-	75,00						-			14,00

Fuente: Elaboración propia

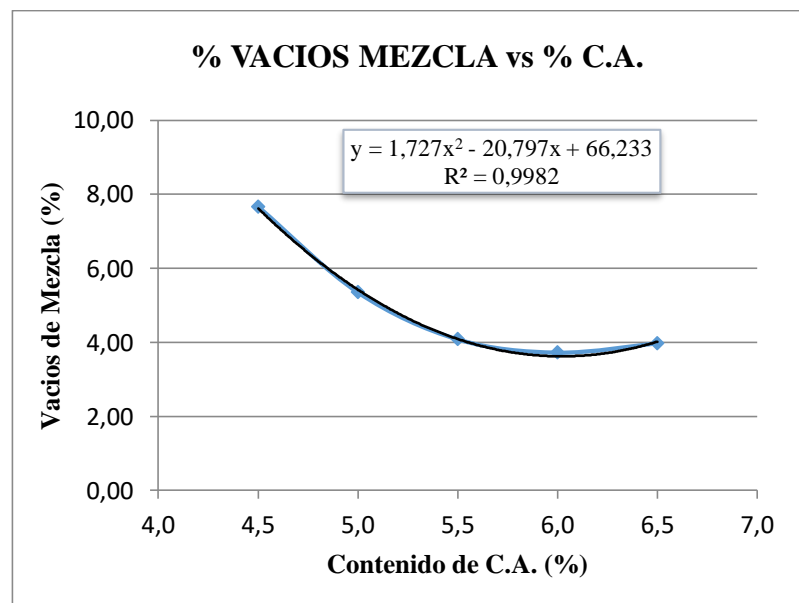
Con los valores obtenidos de la tabla de resultados se procede a graficar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones:

Figura 4.5. Porcentaje de asfalto vs densidad (85-100)



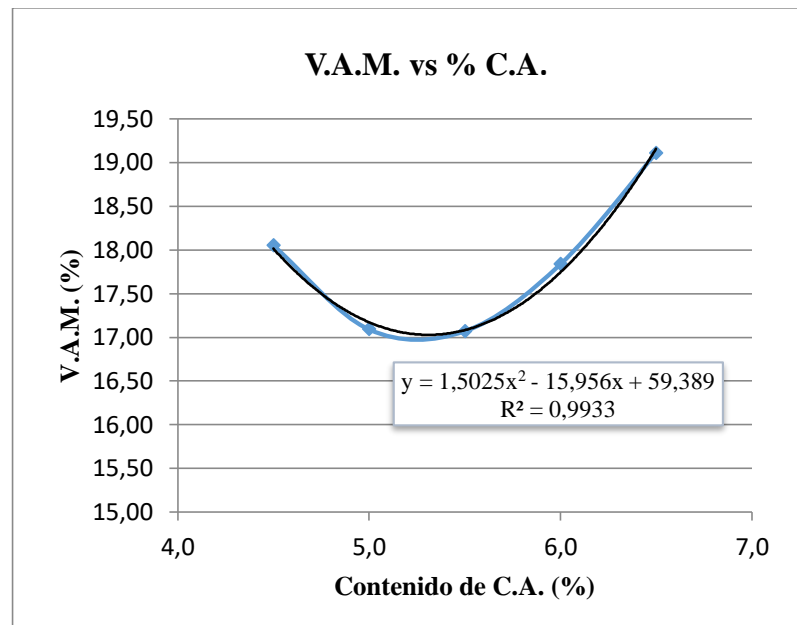
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6. Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos (85-100)



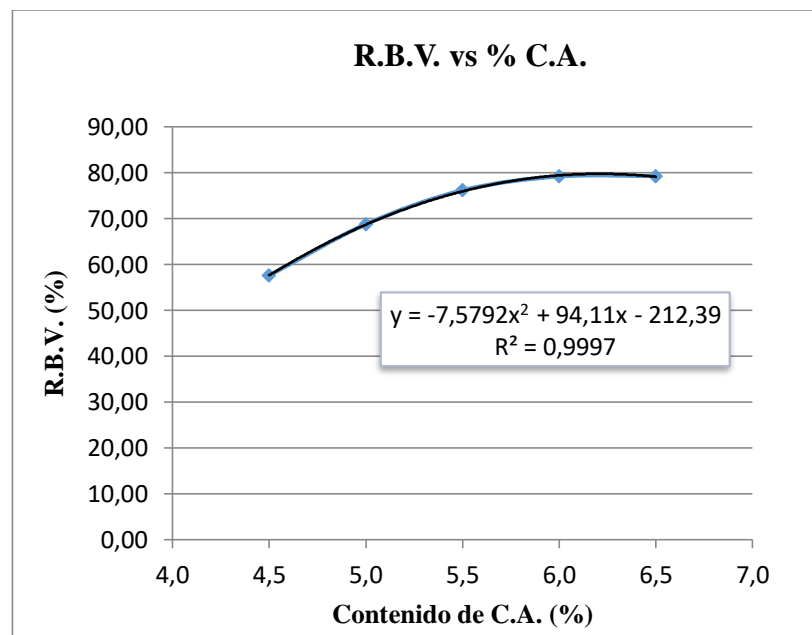
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7. Porcentaje de asfalto vs VAM (85-100)



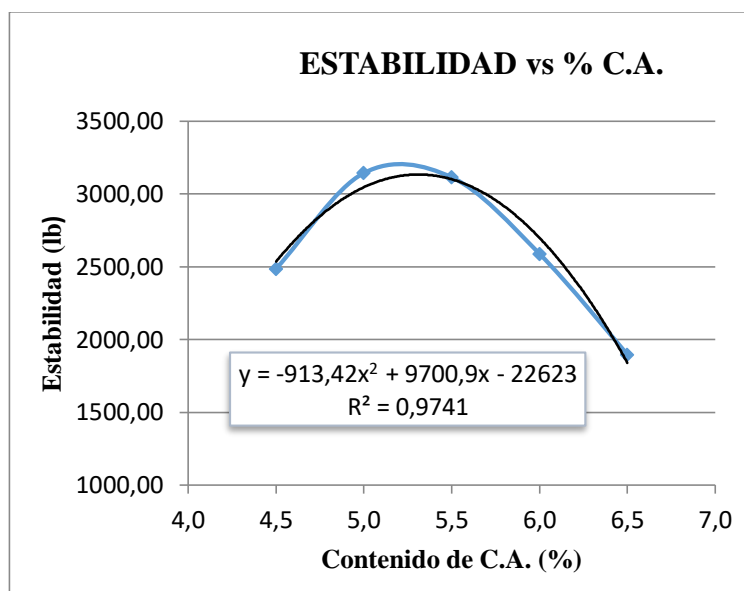
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8. Porcentaje de asfalto vs RBV (85-100)



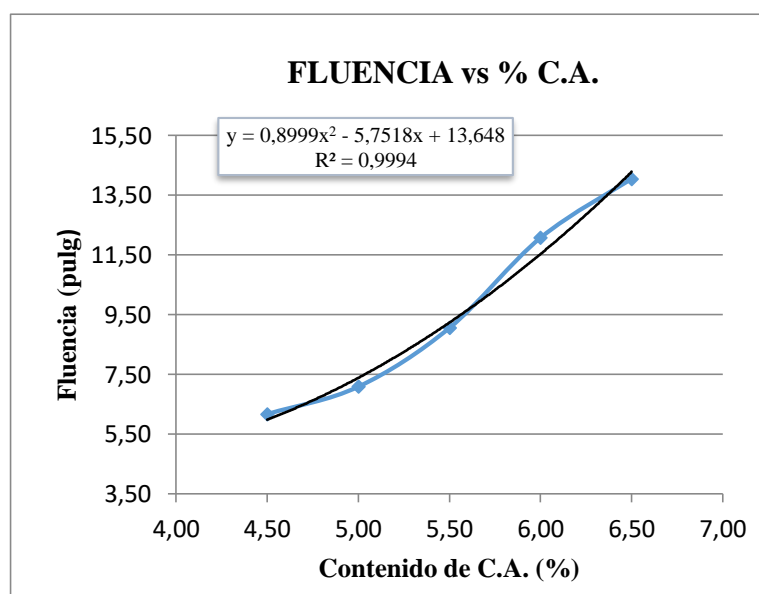
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9. Porcentaje de asfalto vs estabilidad (85-100)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10. Porcentaje de asfalto vs flujo (85-100)



Fuente: Elaboración propia

Con la ayuda de las gráficas se puede definir el contenido óptimo de cemento asfáltico; el criterio para determinar el contenido óptimo se obtiene del promedio de los óptimos parciales de cada gráfica como se muestra a continuación:

Tabla 4.7. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica (85-100)

Valores				
Características	% parcial de asfalto (X)	Obtenidos de gráficos (Y)	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,59	2,37	-----	-----
% vacíos	5,55	4,00	3	5
R.B.V.	5,07	70,00	65	75
V.A.M	5,31	16,40	13	-----
Estabilidad (lb)	5,31	3133,90	> 1800 Lb	
Fluencia 1/100"	5,70	11,00	8	14
Promedio (%)	5,41	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se determina el contenido óptimo de cemento asfáltico y con la ayuda de las mismas gráficas, se puede encontrar los valores de las características de la mezcla asfáltica.

Tabla 4.8. Resultados del diseño óptimo de los ensayos (85-100)

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con él % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,41	2,37	-----	-----
% vacíos	5,41	4,27	3	5
R.B.V.	5,41	74,92	65	75
V.A.M	5,41	17,04	13	-----
Estabilidad (lb)	5,41	3124,80	> 1800 Lb	
Fluencia 1/100"	5,41	8,87	8	14
% óptimo de asfalto propuesto			5,41	

Fuente: Elaboración propia

4.4 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO (60-85)

Para este diseño se sigue el procedimiento de cálculo demostrado anteriormente.

4.4.1 Dosificación de los especímenes (briquetas)

Para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 18 especímenes (briquetas) mediante el método Marshall. Se preparan 6 grupos de briquetas con diferentes contenidos de cemento asfáltico, se varía un 0,50 % del peso del cemento asfáltico para la mezcla de agregados de forma que las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido.

Para la dosificación de las briquetas se utiliza la granulometría ya establecida anteriormente; la misma está distribuida de la siguiente manera:

Ponderación de grava	20 %
Ponderación de gravilla	33 %
Ponderación de arena	47 %

Los porcentajes de cemento asfáltico para preparar la mezcla son de: 4,00 %, 4,50 %, 5,00 %, 5,50 %, 6,00 % y 6,50 %,

Tabla 4.9. Peso de los agregados a diferentes porcentajes de C.A (60-85)

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
Porcentaje de agregado (%)	96,00	95,50	95,00	94,50	94,00	93,50
Peso de cemento asfáltico (gr)	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr)	230,40	229,20	228,00	226,80	225,60	224,40
Peso de gravilla (gr)	380,16	378,18	376,20	374,22	372,24	370,26
Peso de arena (gr)	541,44	538,62	535,80	532,98	530,16	527,34
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior muestra las cantidades de agregados y cemento asfáltico para efectuar el diseño y así poder obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico.

4.4.2 Resultados de las muestras

Una vez que se hayan extraído las briquetas de los moldes de compactación se procede a realizar los ensayos de gravedad específica, estabilidad y fluencia.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos de los diseños de la mezcla asfáltica utilizando cemento asfáltico modificado (60-85).

Tabla 4.10. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado (60-85)

PESOS ESPECÍFICOS			% de agregado	
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,72	46,87		
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,69	53,13		
Peso Especifico Total	2,70	100,00		

Número de golpes 75	
Cemento asfáltico betunel 60-85	
Peso específico del ligante aashto T-228	1,002

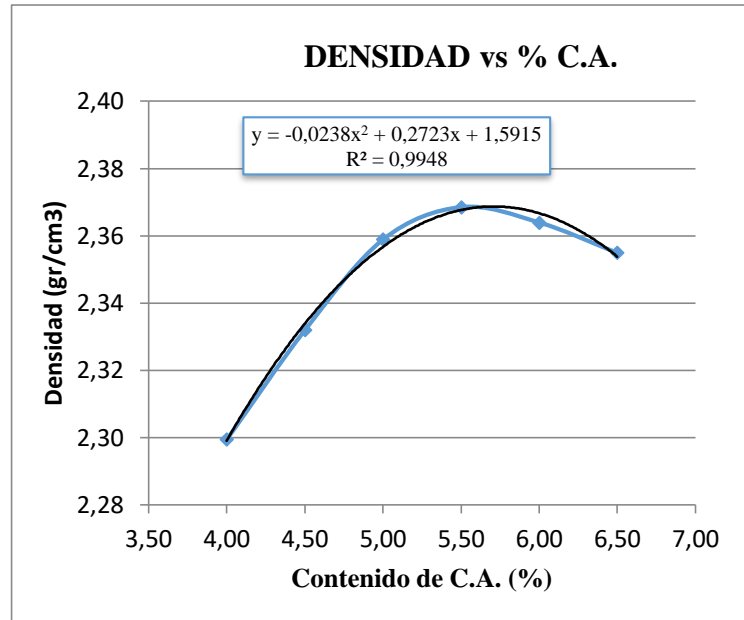
Agregado	P.E.	%
Grava	2,74	20,00
Gravilla	2,71	33,00
Arena	2,69	47,00
Filler	0	0

N° de probeta	altura de probeta	% de Asfalto		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall			Fluencia				
		base Mezcla	base Agregados	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	fluencia real	Fluencia promedio
		%	%	gr	gr	gr	cc	gr/cm3	gr/cm3	gr/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg
1,00	6,35	4,00	4,17	1163,50	1171,10	670,00	501,10	2,32	2,30	2,53	9,20	18,38	49,94	1330,00	3563,20	1,00	3563,20	3475,34	140,00	0,06	6,04
2,00	6,77			1210,50	1220,80	694,00	526,80	2,30						1400,00	3751,70	0,91	3395,29		170,00	0,07	
3,00	6,54			1176,90	1189,50	673,00	516,50	2,28						1356,00	3633,22	0,95	3467,54		150,00	0,06	
4,00	6,48	4,50	4,71	1196,80	1202,50	691,00	511,50	2,34	2,33	2,51	7,18	17,66	59,31	1435,00	3845,95	0,97	3720,95	4120,69	150,00	0,06	6,56
5,00	6,41			1174,30	1181,90	678,00	503,90	2,33						1510,00	4047,91	0,99	3987,19		140,00	0,06	
6,00	6,08			1083,30	1090,80	625,00	465,80	2,33						1610,00	4317,19	1,08	4653,93		210,00	0,08	
7,00	6,32	5,00	5,26	1184,50	1188,60	689,00	499,60	2,37	2,36	2,49	5,37	17,14	68,67	1820,00	4882,67	1,01	4921,74	4585,05	190,00	0,07	7,35
8,00	6,32			1184,15	1189,80	688,00	501,80	2,36						1547,00	4147,54	1,01	4180,72		180,00	0,07	
9,00	6,33			1183,80	1188,60	684,00	504,60	2,35						1726,00	4629,55	1,01	4652,70		190,00	0,07	
10,00	6,31	5,50	5,82	1198,10	1199,90	699,00	500,90	2,39	2,37	2,47	4,24	17,24	75,41	1670,00	4478,75	1,01	4528,02	4504,01	270,00	0,11	9,58
11,00	6,29			1184,80	1187,80	684,00	503,80	2,35						1595,00	4276,79	1,02	4345,22		250,00	0,10	
12,00	6,27			1190,00	1193,80	690,00	503,80	2,36						1694,00	4543,38	1,02	4638,79		210,00	0,08	
13,00	6,30	6,00	6,38	1186,20	1188,00	683,00	505,00	2,35	2,36	2,45	3,68	17,84	79,35	1390,00	3724,77	1,01	3773,19	3785,95	290,00	0,11	12,34
14,00	6,09			1159,10	1160,30	672,00	488,30	2,37						1388,00	3719,39	1,07	3994,62		320,00	0,13	
15,00	6,19			1178,00	1178,20	681,00	497,20	2,37						1285,00	3442,03	1,04	3590,03		330,00	0,13	
16,00	6,22	6,50	6,95	1169,90	1170,60	674,00	496,60	2,36	2,35	2,44	3,31	18,59	82,19	1122,00	3003,10	1,04	3108,21	3091,29	450,00	0,18	17,06
17,00	6,19			1167,30	1168,50	673,00	495,50	2,36						1101,00	2946,55	1,04	3073,25		420,00	0,17	
18,00	6,20			1168,60	1169,60	673,00	496,60	2,35						1111,00	2973,48	1,04	3092,42		430,00	0,17	
ESPECIFICACIONES				Minimo						3,00	13,00	65,00				1800,00			8,00		
				Maximo						5,00	-	75,00				-				14,00	

Fuente: Elaboración propia

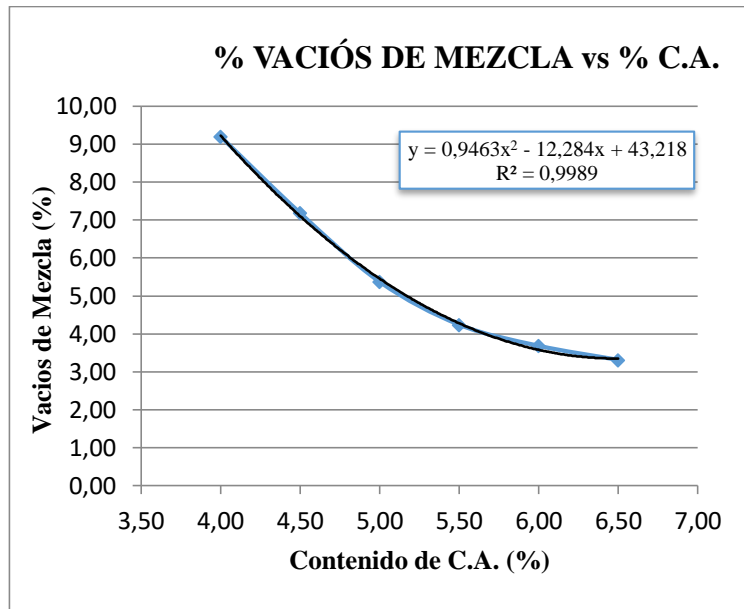
Con los valores obtenidos de la tabla de resultados se procede a graficar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones:

Figura 4.11. Porcentaje de asfalto vs densidad (60-85)



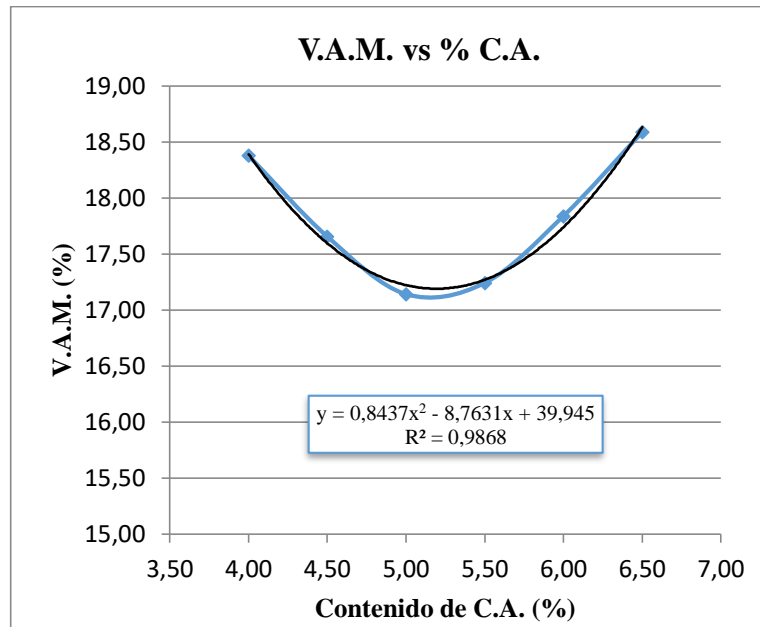
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12. Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos (60-85)



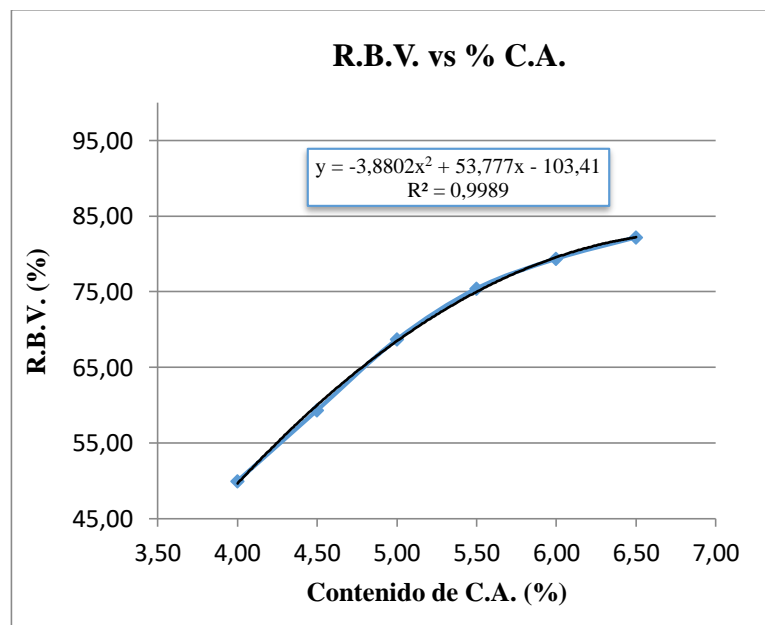
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13. Porcentaje de asfalto vs VAM (60-85)



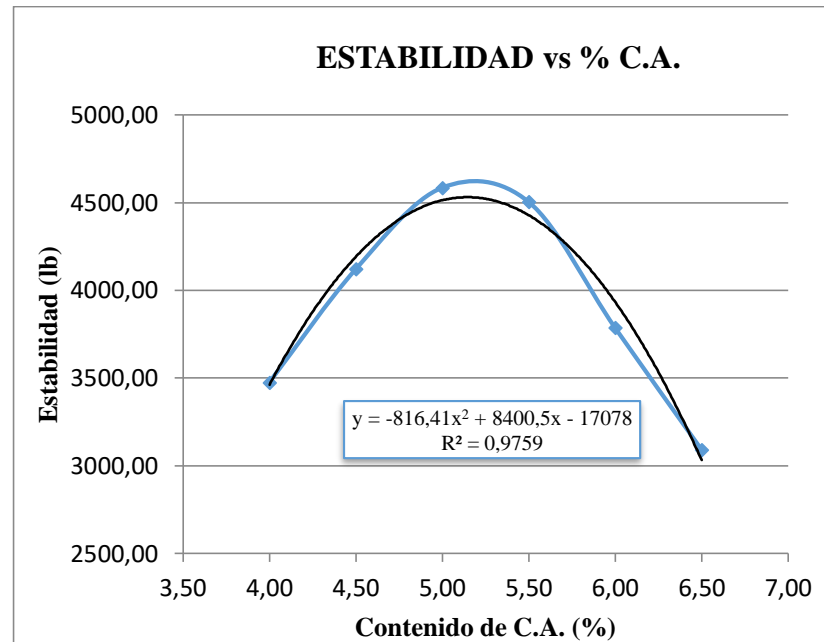
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14. Porcentaje de asfalto vs RBV (60-85)



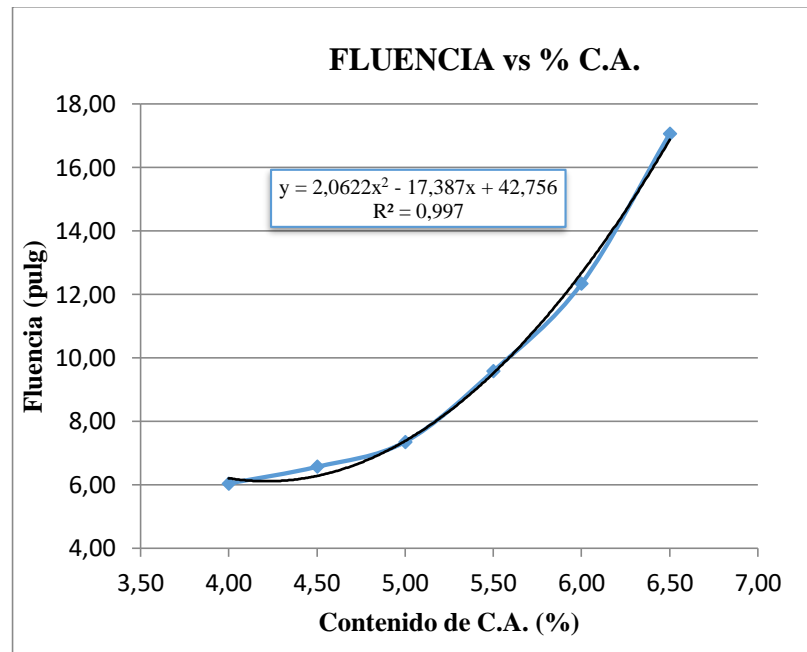
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15. Porcentaje de asfalto vs estabilidad (60-85)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16. Porcentaje de asfalto vs flujo (60-85)



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas se tiene lo siguiente:

Tabla 4.11. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica (60-85)

Valores				
Características	% parcial de asfalto (X)	Obtenidos de gráficos (Y)	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,72	2,37	-----	-----
% vacíos	5,67	4,00	3	5
R.B.V.	5,11	70,00	65	75
V.A.M	5,19	17,19	13	-----
Estabilidad (lb)	5,14	4531,36	> 1800 Lb	
Fluencia 1/100"	5,67	11,00	8	14
Promedio (%)	5,50	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las graficas		

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se determina el contenido óptimo de cemento asfáltico y con la ayuda de las mismas gráficas, se puede encontrar los resultados de las características de la mezcla asfáltica.

Tabla 4.12. Resultados del diseño óptimo de los ensayos (60-85)

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con él % optimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,50	2,37	-----	-----
% vacíos	5,50	4,28	3	5
R.B.V.	5,50	74,99	65	75
V.A.M	5,50	17,27	13	-----
Estabilidad (lb)	5,50	4428,35	> 1800 Lb	
Fluencia 1/100"	5,50	9,51	8	14
% óptimo de asfalto propuesto			5,50	

Fuente: Elaboración propia

4.5 DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON MACROFIBRAS Y % ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO.

Una vez determinados los contenidos óptimos de cemento asfáltico de cada diseño de las mezclas asfálticas, se elaboró 5 briquetas de cada diseño para realizar un análisis de los resultados.

4.5.1 Diseño de la mezcla asfáltica con macrofibras y % óptimo de cemento asfáltico (85-100).

El porcentaje óptimo de cemento asfáltico obtenido es de 5,41 %. Con el aumento de macrofibras en la mezcla va disminuyendo la cantidad de agregados.

Tabla 4.13. Dosificación a diferentes porcentajes de macrofibras con el contenido óptimo de cemento asfáltico (85-100)

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	5,41	5,41	5,41	5,41	5,41	5,41
Porcentaje de Macrofibras (%)	0,00	1,00	2,00	4,00	5,00	7,00
Porcentaje de agregado (%)	94,59	93,59	92,59	90,59	89,59	87,59
Peso de cemento asfáltico (gr)	64,92	64,92	64,92	64,92	64,92	64,92
Peso de Macrofibras (gr)	0,00	12,00	24,00	48,00	60,00	84,00
Peso de grava (gr)	227,02	224,62	222,22	217,42	215,02	210,22
Peso de gravilla (gr)	374,58	370,62	366,66	358,74	354,78	346,86
Peso de arena (gr)	533,49	527,85	522,21	510,93	505,29	494,01
Peso total de la briqueleta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.14. Datos obtenidos del ensayo Marshal de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
1	6,25	5,41	1194,70	1195,00	692,00	1021,00	220,00
2	6,21	5,41	1193,60	1195,20	692,00	1069,00	210,00
3	6,23	5,41	1194,65	1195,35	691,00	1045,00	210,00
4	6,21	5,41	1188,95	1190,65	690,00	1085,00	200,00
5	6,20	5,41	1184,30	1186,30	684,00	1100,00	210,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.15. Resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
1	6,25	5,41	2,38	4,13	16,93	75,59	2804,87	8,66
2	6,21	5,41	2,37	4,26	17,04	75,00	2966,22	8,27
3	6,23	5,41	2,37	4,39	17,16	74,39	2885,22	8,27
4	6,21	5,41	2,37	4,15	16,94	75,52	3010,89	7,87
5	6,20	5,41	2,36	4,84	17,54	72,43	3061,61	8,27
Promedio			2,370	4,35	17,12	74,59	2945,76	8,27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.16. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 1 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
6	6,27	5,41	1193,20	1193,70	693,00	1152,00	220,00
7	6,21	5,41	1187,30	1187,70	688,00	1056,00	210,00
8	6,28	5,41	1190,60	1191,00	692,00	1101,00	220,00
9	6,24	5,41	1190,25	1190,51	693,00	1104,00	210,00
10	6,28	5,41	1188,00	1188,20	690,00	1050,00	220,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.17. Resultados de las propiedades mecánicas al 1 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
6	6,27	5,41	2,38	4,40	17,24	74,49	3148,65	8,66
7	6,21	5,41	2,38	4,68	17,48	73,23	2929,91	8,27
8	6,28	5,41	2,39	4,28	17,14	75,02	3002,54	8,66
9	6,24	5,41	2,39	4,02	16,91	76,22	3040,31	8,27
10	6,28	5,41	2,38	4,34	17,19	74,77	2862,59	8,66
Promedio			2,384	4,34	17,19	74,75	2996,80	8,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.18. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 2 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
11	6,41	5,41	1189,40	1192,00	695,00	920,00	220,00
12	6,46	5,41	1195,50	1198,50	698,00	960,00	230,00
13	6,43	5,41	1192,45	1195,25	695,00	940,00	240,00
14	6,33	5,41	1184,20	1186,00	688,00	910,00	230,00
15	6,24	5,41	1179,00	1181,90	688,00	900,00	220,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.19. Resultados de las propiedades mecánicas al 2 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
11	6,41	5,41	2,39	4,58	17,47	73,80	2422,27	8,66
12	6,46	5,41	2,39	4,76	17,63	73,00	2496,28	9,06
13	6,43	5,41	2,38	4,95	17,80	72,16	2462,75	9,45
14	6,33	5,41	2,38	5,19	18,00	71,19	2444,39	9,06
15	6,24	5,41	2,39	4,82	17,68	72,75	2475,05	8,66
Promedio			2,386	4,86	17,72	72,58	2460,15	8,98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.20. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 4 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
16	6,15	5,41	1188,20	1191,80	691,00	742,00	260,00
17	6,44	5,41	1196,50	1199,90	701,00	745,00	260,00
18	6,30	5,41	1192,35	1195,85	696,00	744,00	240,00
19	6,26	5,41	1195,08	1198,43	699,00	791,00	250,00
20	6,23	5,41	1197,80	1201,00	702,00	839,00	240,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.21. Resultados de las propiedades mecánicas al 4 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
16	6,15	5,41	2,37	6,56	19,34	66,09	2090,71	10,24
17	6,44	5,41	2,40	5,55	18,47	69,96	1943,19	10,24
18	6,30	5,41	2,39	6,05	18,91	67,98	2011,03	9,45
19	6,26	5,41	2,39	5,76	18,65	69,12	2162,47	9,84
20	6,23	5,41	2,40	5,46	18,40	70,30	2312,75	9,45
Promedio			2,39	5,88	18,75	68,69	2104,03	9,84

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.22. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 5 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
21	6,20	5,41	1174,60	1178,10	679,00	650,00	250,00
22	6,34	5,41	1206,50	1210,30	711,00	735,00	270,00
23	6,27	5,41	1190,55	1194,20	695,00	693,00	270,00
24	6,30	5,41	1202,00	1206,05	709,0	707,00	260,00
25	6,25	5,41	1197,50	1201,80	706,00	678,00	280,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.23. Resultados de las propiedades mecánicas al 5 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
21	6,20	5,41	2,35	6,58	18,57	69,75	1801,38	9,94
22	6,34	5,41	2,42	5,43	18,45	70,58	1966,87	10,63
23	6,27	5,41	2,38	6,66	19,51	65,87	1886,69	10,63
24	6,30	5,41	2,42	5,35	18,38	70,88	1910,10	10,24
25	6,25	5,41	2,42	5,47	18,48	70,41	1856,30	11,02
Promedio			2,40	6,16	19,08	67,88	1884,27	10,94

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.24. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 7 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
26	6,29	5,41	1202,50	1207,60	710,00	615,00	350,00
27	6,35	5,41	1211,30	1217,60	720,00	678,00	340,00
28	6,32	5,41	1206,90	1212,60	715,00	647,00	350,00
29	6,33	5,41	1198,00	1203,85	706,00	632,00	340,00
30	6,31	5,41	1184,70	1190,10	692,00	585,00	350,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.25. Resultados de las propiedades mecánicas al 7 % de macrofibras
C.A (85-100)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
26	6,29	5,41	2,42	6,60	19,62	66,36	1664,06	13,78
27	6,35	5,41	2,43	6,92	19,03	68,91	1807,50	13,39
28	6,32	5,41	2,43	6,26	19,33	67,62	1737,81	13,78
29	6,33	5,41	2,41	7,00	19,96	64,95	1692,05	13,39
30	6,31	5,41	2,38	8,08	20,89	64,35	1574,19	13,78
Promedio			2,41	6,77	19,77	65,84	1695,12	13,62

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Diseño de la mezcla asfáltica con macrofibras y % óptimo del cemento asfáltico (60-85)

El porcentaje óptimo de cemento asfáltico obtenido es de 5,50 %. Con el aumento de macrofibras en la mezcla va disminuyendo la cantidad de agregados.

Tabla 4.26. Dosificación a diferentes porcentajes de macrofibras con el contenido óptimo de cemento asfáltico (60-85)

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
Porcentaje de Macrofibras (%)	0,00	1,00	2,00	4,00	5,00	7,00
Porcentaje de agregado (%)	94,50	93,50	92,50	90,50	89,50	87,50
Peso de cemento asfáltico (gr)	66,00	66,00	66,00	66,00	66,00	66,00
Peso de Macrofibras (gr)	0,00	12,00	24,00	48,00	60,00	84,00
Peso de grava (gr)	226,80	224,40	222,00	217,20	214,80	210,00
Peso de gravilla (gr)	374,22	370,26	366,30	358,38	354,42	346,50
Peso de arena (gr)	532,98	527,34	521,70	510,42	504,78	493,50
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.27. Datos obtenidos del ensayo Marshal de la mezcla asfáltica convencional C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
1	6,28	5,50	1192,50	1193,10	687,00	1855,00	200,00
2	6,34	5,50	1213,10	1213,60	700,00	1810,00	230,00
3	6,31	5,50	1202,80	1203,35	696,00	1800,00	205,00
4	6,33	5,50	1202,85	1203,50	696,00	1820,00	245,00
5	6,31	5,50	1192,60	1193,40	690,00	1795,00	260,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.28. Resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (V _v)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
1	6,28	5,50	2,36	4,74	17,67	73,19	5071,48	7,87
2	6,34	5,50	2,36	4,51	17,47	74,20	4870,31	9,06
3	6,31	5,50	2,37	4,15	17,16	75,81	4881,94	8,07
4	6,33	5,50	2,37	4,18	17,19	75,70	4907,09	9,65
5	6,31	5,50	2,37	4,22	17,22	75,51	4868,32	10,24
Promedio			2,366	4,36	17,34	74,88	4919,83	8,98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.29. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 1 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
6	6,23	5,50	1187,20	1188,80	689,00	1810,00	240,00
7	6,14	5,50	1185,13	1186,98	689,00	1830,00	240,00
8	6,19	5,50	1186,50	1187,90	689,00	1820,00	205,00
9	6,19	5,50	1190,41	1190,95	692,00	1939,00	240,00
10	6,24	5,50	1195,50	1196,80	696,00	2048,00	240,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.30. Resultados de las propiedades mecánicas al 1 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
6	6,23	5,50	2,38	4,55	17,59	74,14	5011,13	9,45
7	6,14	5,50	2,38	4,37	17,43	74,95	5199,27	9,45
8	6,19	5,50	2,38	4,43	17,49	74,66	5092,63	8,07
9	6,19	5,50	2,39	4,13	17,22	76,04	5426,85	9,45
10	6,24	5,50	2,39	4,07	17,17	76,29	5656,04	9,45
Promedio			2,381	4,31	17,38	75,22	5277,18	9,17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.31. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 2 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
11	6,24	5,50	1194,80	1195,40	697,00	1579,00	230,00
12	6,36	5,50	1189,20	1192,70	695,00	1687,00	250,00
13	6,30	5,50	1192,00	1194,05	696,00	1633,00	240,00
14	6,30	5,50	1191,95	1194,10	695,00	1703,00	255,00
15	6,24	5,50	1194,70	1195,50	697,00	1719,00	260,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.32. Resultados de las propiedades mecánicas al 2 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (V _v)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
11	6,24	5,50	2,40	4,25	17,41	75,58	4356,49	9,06
12	6,36	5,50	2,39	4,57	17,68	74,17	4513,22	9,84
13	6,30	5,50	2,39	4,41	17,55	74,87	4436,05	9,45
14	6,30	5,50	2,39	4,62	17,72	73,96	4627,00	10,04
15	6,24	5,50	2,40	4,28	17,43	75,45	4744,41	10,24
Promedio			2,393	4,42	17,56	74,92	4535,43	9,72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.33. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 4 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
16	6,32	5,50	1198,00	1200,00	703,00	1443,00	280,00
17	6,22	5,50	1181,80	1184,40	693,00	1586,00	360,00
18	6,27	5,50	1189,90	1192,20	698,00	1515,00	320,00
19	6,28	5,50	1190,50	1192,75	698,00	1593,00	310,00
20	6,34	5,50	1199,20	1201,10	704,00	1600,00	260,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.34. Resultados de las propiedades mecánicas al 4 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (V _v)	% vacíos de agregado (V _{AM})	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
16	6,32	5,50	2,41	4,91	18,14	72,95	3898,43	11,02
17	6,22	5,50	2,40	5,12	18,32	72,04	4401,40	14,17
18	6,27	5,50	2,41	5,01	18,23	72,50	4146,66	12,60
19	6,28	5,50	2,41	5,07	18,28	72,26	4352,57	12,20
20	6,34	5,50	2,41	4,83	18,07	73,27	4303,13	10,24
Promedio			2,408	4,99	18,21	72,61	4220,44	12,05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.35. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 5 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
21	6,30	5,50	1182,30	1186,10	696,00	1379,00	350,00
22	6,26	5,50	1199,00	1201,20	703,00	1587,00	340,00
23	6,28	5,50	1190,65	1193,65	699,00	1483,00	345,00
24	6,19	5,50	1181,95	1184,40	694,00	1549,00	330,00
25	6,11	5,50	1164,90	1167,60	685,00	1511,00	320,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.36. Resultados de las propiedades mecánicas al 5 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (V _v)	% vacíos de agregado (V _{AM})	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
21	6,30	5,50	2,41	5,42	18,66	70,95	3743,19	13,78
22	6,26	5,50	2,41	5,64	18,85	70,06	4357,38	13,39
23	6,28	5,50	2,41	5,63	18,84	70,12	4050,73	13,58
24	6,19	5,50	2,41	5,51	18,74	70,61	4331,50	12,99
25	6,11	5,50	2,41	5,36	18,61	71,18	4326,04	12,60
Promedio			2,410	5,51	18,74	70,59	4161,77	13,27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.37. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 7 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Peso seco (gr)	Peso Sat. Sup. seca (gr)	Peso Sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
26	6,30	5,50	1206,70	1211,11	713,00	1131,00	320,00
27	6,31	5,50	1190,10	1197,50	705,00	1382,00	400,00
28	6,31	5,50	1198,40	1204,31	709,00	1257,00	360,00
29	6,31	5,50	1175,15	1183,10	696,00	1453,00	365,00
30	6,31	5,50	1160,20	1168,70	687,00	1524,00	330,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.38. Resultados de las propiedades mecánicas al 7 % de macrofibras
C.A (60-85)

Identificación	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Densidad real (gr/cm ³)	% vacíos en la mezcla (V _v)	% vacíos de agregado (V _{AM})	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
26	6,30	5,50	2,42	6,21	19,50	68,18	3066,69	12,60
27	6,31	5,50	2,42	6,44	19,71	67,30	3743,96	15,75
28	6,31	5,50	2,42	6,32	19,61	67,74	3403,66	14,17
29	6,31	5,50	2,41	6,59	19,84	66,76	3937,26	14,37
30	6,31	5,50	2,41	6,75	19,97	66,20	4130,55	12,99
Promedio			2,416	6,46	19,73	67,24	3656,42	13,98

Fuente: Elaboración propia

4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Estadística descriptiva

*Tabla 4.39. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica convencional
C.A (85-100)*

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	2945,76	2966,22	0,00	101,98	10399,69
Flujo (1/100")	8,27	8,27	8,27	0,28	0,08
Densidad (gr/cm³)	2,37	2,37	0,00	0,01	0,00
% Vacíos (%)	4,35	4,26	0,00	0,29	0,08
% VAM (%)	17,12	17,04	0,00	0,25	0,06
% RBV (%)	74,59	75,00	0,00	1,30	1,68

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 4.40. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras
C.A (85-100)*

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	2996,80	3002,54	0,00	108,94	11867,13
Flujo (1/100")	8,50	8,66	8,66	0,22	0,05
Densidad (gr/cm³)	2,38	2,38	0,00	0,01	0,00
% Vacíos (%)	4,34	4,34	0,00	0,24	0,06
% VAM (%)	17,19	17,19	0,00	0,20	0,04
% RBV (%)	74,99	74,77	0,00	1,07	1,15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.41. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 2 % de macrofibras C.A (85-100)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	2460,15	2462,75	0,00	28,36	804,40
Flujo (1/100")	8,98	9,06	8,66	0,33	0,11
Densidad (gr/cm³)	2,39	2,39	0,00	0,01	0,00
% Vacíos (%)	4,86	4,82	0,00	0,23	0,05
% VAM (%)	17,72	17,68	0,00	0,20	0,04
% RBV (%)	72,58	72,75	0,00	0,98	0,95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.42. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 4 % de macrofibras C.A (85-100)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	2104,03	2090,71	0,00	142,90	20419,11
Flujo (1/100")	9,84	9,84	10,24	0,39	0,16
Densidad (gr/cm³)	2,39	2,39	0,00	0,01	0,00
% Vacíos (%)	5,88	5,76	0,00	0,44	0,20
% VAM (%)	18,75	18,65	0,00	0,38	0,15
% RBV (%)	68,69	69,12	0,00	1,71	2,91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.43. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 5 % de macrofibras C.A (85-100)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	1884,27	1886,69	0,00	61,54	3787,12
Flujo (1/100")	10,94	11,02	11,02	0,33	0,11
Densidad (gr/cm³)	2,40	2,42	0,00	0,03	0,00
% Vacíos (%)	6,16	5,47	0,00	1,11	1,23
% VAM (%)	19,08	18,48	0,00	0,96	0,91
% RBV (%)	67,88	70,41	0,00	4,05	16,41

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.44. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 7 % de macrofibras C.A (85-100)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	1695,12	1692,05	0,00	86,67	7512,16
Flujo (1/100")	13,62	13,78	13,78	0,22	0,05
Densidad (gr/cm³)	2,41	2,42	0,00	0,02	0,00
% Vacíos (%)	6,77	6,60	0,00	0,83	0,69
% VAM (%)	19,77	19,62	0,00	0,72	0,51
% RBV (%)	65,84	66,36	0,00	2,91	8,47

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 4.45. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica convencional
C.A (60-85)*

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	4919,83	4881,94	0,00	86,17	7425,52
Flujo (1/100")	8,98	9,06	0,00	1,01	1,02
Densidad (gr/cm³)	2,37	2,37	0,00	0,01	0,00
% Vacíos (%)	4,36	4,22	0,00	0,26	19,00
% VAM (%)	17,34	17,22	0,00	0,22	0,05
% RBV (%)	74,88	75,51	0,00	1,15	1,31

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 4.46. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras
C.A (60-85)*

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	5277,18	5199,27	0,00	263,08	69211,08
Flujo (1/100")	9,17	9,45	9,45	0,62	0,38
Densidad (gr/cm³)	2,38	2,38	0,00	0,01	0,00
% Vacíos (%)	4,31	4,37	0,00	0,20	0,04
% VAM (%)	17,38	17,43	0,00	0,18	0,03
% RBV (%)	75,22	74,95	0,00	0,92	0,84

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.47. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 2 % de macrofibras C.A (60-85)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	4535,43	4513,22	0,00	153,66	23612,01
Flujo (1/100")	9,72	9,84	0,00	0,47	0,22
Densidad (gr/cm³)	2,39	2,39	0,00	0,02	0,00
% Vacíos (%)	4,42	4,60	0,00	0,77	0,59
% VAM (%)	17,56	17,71	0,00	0,66	0,44
% RBV (%)	74,92	74,02	0,00	3,39	11,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.48. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 4 % de macrofibras C.A (60-85)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	4220,44	4303,13	0,00	203,82	41543,91
Flujo (1/100")	12,05	12,20	0,00	1,51	2,29
Densidad (gr/cm³)	2,41	2,41	0,00	0,00	0,00
% Vacíos (%)	4,99	5,01	0,00	0,12	0,01
% VAM (%)	18,21	18,23	0,00	0,10	0,01
% RBV (%)	72,61	72,50	0,00	0,50	0,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.49. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 5 % de macrofibras C.A (60-85)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	4161,77	4326,04	0,00	265,33	70399,49
Flujo (1/100")	13,27	13,39	0,00	0,47	0,22
Densidad (gr/cm³)	2,41	2,41	0,00	0,00	0,00
% Vacíos (%)	5,51	5,51	0,00	0,12	0,02
% VAM (%)	18,74	18,74	0,00	0,11	0,01
% RBV (%)	70,59	70,61	0,00	0,49	0,24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.50. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 7 % de macrofibras C.A (60-85)

Variable	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Varianza
Estabilidad (Lb)	3656,42	3743,96	0,00	425,15	180749,25
Flujo (1/100")	13,98	14,17	0,00	1,24	1,55
Densidad (gr/cm³)	2,42	2,42	0,00	0,01	0,00
% Vacíos (%)	6,46	6,44	0,00	0,21	0,05
% VAM (%)	19,73	19,71	0,00	0,18	0,03
% RBV (%)	67,24	67,30	0,00	0,78	0,61

Fuente: Elaboración propia

4.7 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON MACROFIBRAS.

Para el análisis de resultados se adopta los valores medios de cada una de las variables a analizar. Este procedimiento se aplica a cada una de las propiedades y características de las diferentes mezclas que se diseñaron.

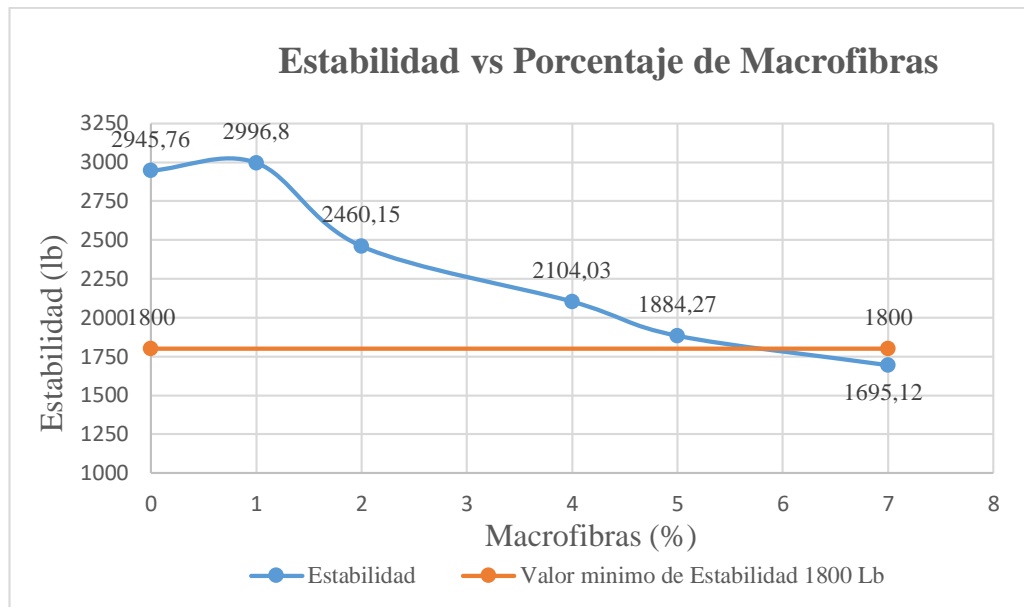
Tabla 4.51. Resumen de resultados de las características mecánicas de las mezclas asfálticas a diferentes porcentajes de macrofibras C.A (85-100)

% de macrofibras	% de asfalto	Densidad real (gr/cm³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
0,00	5,41	2,370	4,35	17,12	74,59	2945,76	8,27
1,00	5,41	2,384	4,34	17,19	74,75	2996,80	8,50
2,00	5,41	2,386	4,86	17,72	72,58	2460,15	8,98
4,00	5,41	2,39	5,88	18,75	68,69	2104,03	9,84
5,00	5,41	2,40	6,16	19,08	67,88	1884,27	10,94
7,00	5,41	2,41	6,77	19,77	65,84	1695,12	13,62

Fuente: Elaboración propia

4.7.1 Estabilidad C.A (85-100)

Figura 4.17. Comparación de estabildades C.A (85-100)



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados de Estabilidad Marshall para el porcentaje óptimo del cemento asfáltico se puede apreciar que las muestras que contienen 1 %, 2 %, 4 % y 5 % de macrofibras, además de la muestra convencional, superan el límite establecido en especificaciones, lo cual indica que para un Tráfico Pesado a la que será expuesta la mezcla asfáltica debe adquirir un valor superior a 1800 lb.

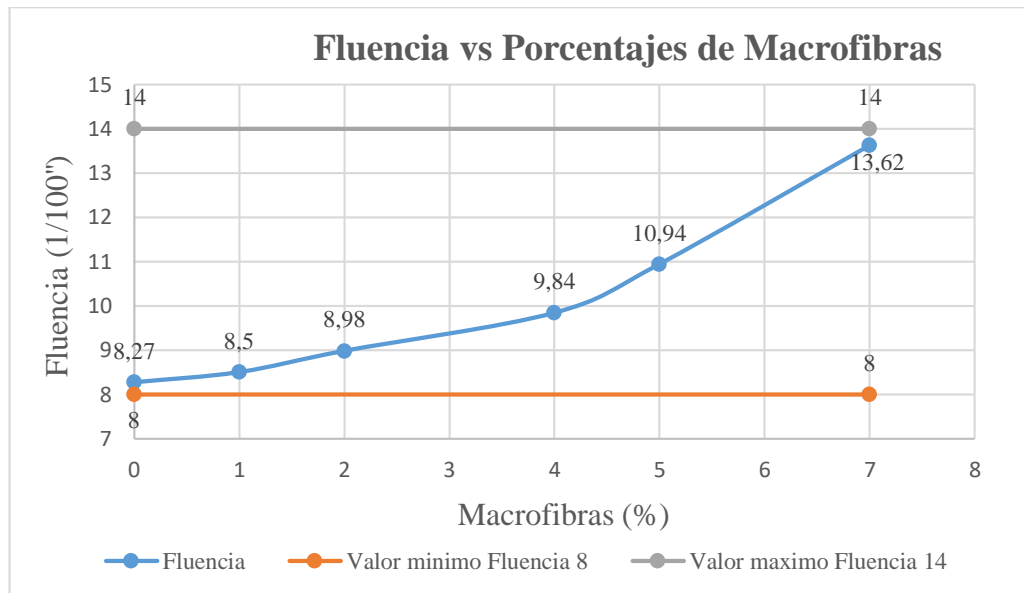
Cabe destacar, según los resultados, si se añade 1 % de macrofibras en una mezcla asfáltica, ésta presentará mayor estabilidad en comparación a mezclas asfálticas convencionales; esto se debe a que la fibra actúa como trabazón o como anclaje entre los áridos ya que aumenta la capacidad de carga en un valor de 51,04 lb. Esto representa un incremento de estabilidad de 1,73 % en comparación con la mezcla convencional.

Si bien la muestra que contiene 2 %, 4 % y 5 % de macrofibras no figura fuera del límite establecido, representa una disminución considerable en la estabilidad, debido a que las macrofibras a mayor porcentaje dificultan la compactación ocasionado mayor porcentaje de vacíos, lo cual genera una mezcla menos inestable.

Por otro lado, la mezcla que contiene 7 % de macrofibras presenta valores menores a 1800lb, esto se debe directamente a la formación de grumos de fibras en las mezclas.

4.7.2 Fluencia C.A (85-100)

Figura 4.18. Comparación de fluencias C.A (85-100)



Fuente: Elaboración propia

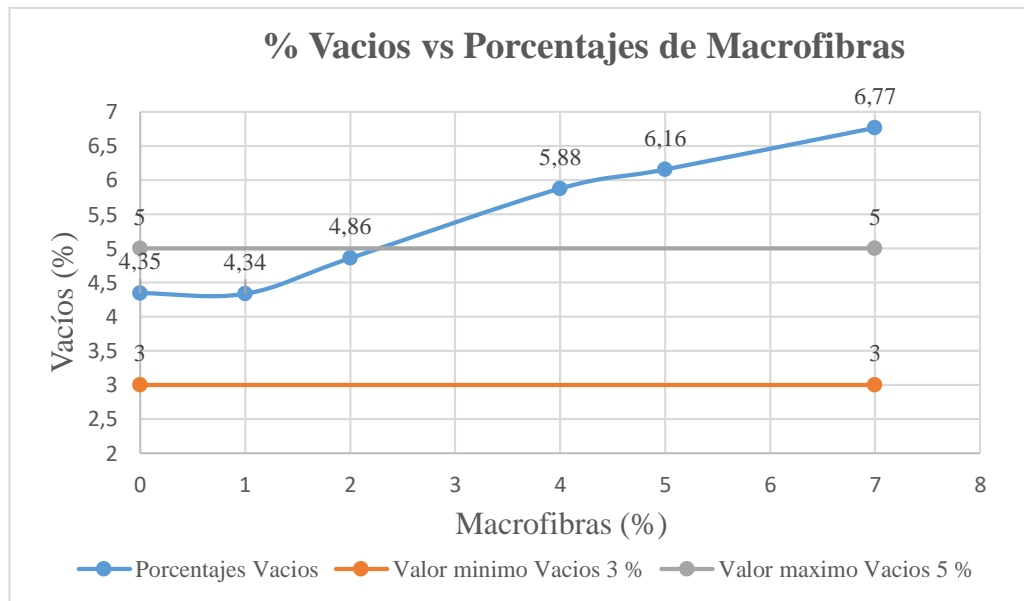
Análisis de resultados

Según el análisis de flujo en las mezclas asfálticas, se puede notar que todas las muestras a los diferentes porcentajes de macrofibras se encuentran con valores de flujo dentro del rango establecido por Norma de 8 a 14. Se evidencia que las fibras mejoran la fluencia, ya que la mezcla no muy rígida ni muy fluida o demasiado flexible.

También es importante remarcar que la fluencia en cada uno de los casos incrementa del valor mínimo de 8 de forma lineal hasta un 4 % produciendo un cambio de pendiente de ascenso hasta el 7 % de fibras, esto se debe a que las fibras no se distribuyen de forma homogénea en la mezcla ocasionando grandes vacíos provocando mayor deformación. Por lo que, alcanza un valor próximo al límite superior de 14 para un porcentaje de 7 % de fibra.

4.7.3 Porcentajes de vacíos C.A (85-100)

Figura 4.19. Comparación del porcentaje de vacíos C.A (85-100)



Fuente: Elaboración propia

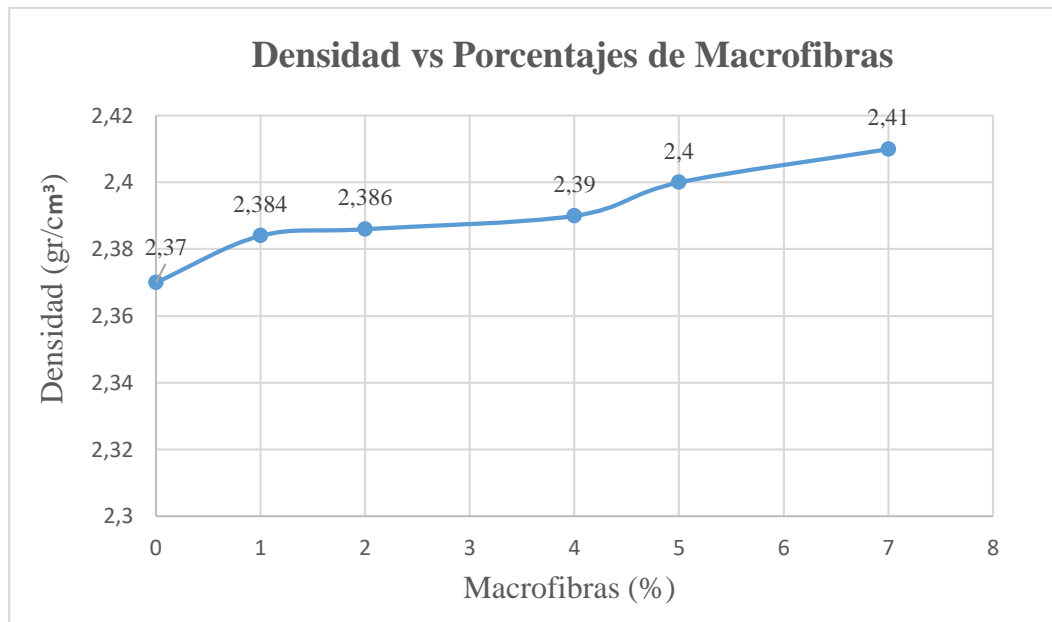
Análisis de resultados

Se observa que el porcentaje de vacíos obtenido de la incorporación de 1 % de macrofibras decrece en comparación a la mezcla convencional, debido a que las macrofibras cubren un cierto porcentaje de vacíos de la convencional; sin embargo, cumplen los rangos establecidos. Esta característica es de mucha importancia, ya que tiene relación con la duración de un pavimento asfáltico.

La incorporación de macrofibras desde el 4 % al 7 % a la mezcla genera mayor cantidad de vacíos, la cual están fuera de los límites superior 5 %. Tan situación se puede dar debido a la forma alargada de las macrofibras que dificultan la compactación provocando grandes vacíos.

4.7.4 Densidad C.A (85-100)

Figura 4.20. Comparación de densidades C.A (85-100)



Fuente: Elaboración propia

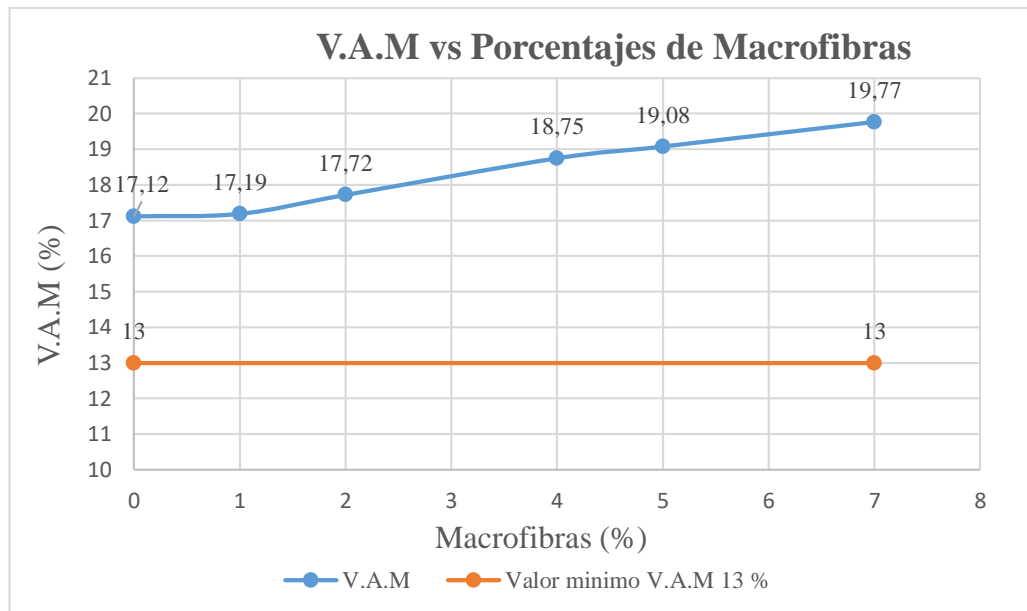
Análisis de resultados

Se puede notar un crecimiento de las densidades para todas aquellas muestras que contienen mayores porcentajes de macrofibras. Se debe a que la densidad de las fibras incorporadas es mayor al de los agregados naturales y al cemento asfáltico, lo cual incrementa en la densidad de las muestras ensayadas.

Una de las características más sobresalientes de las macrofibras es su alta densidad, situación que se ve reflejada en los resultados.

4.7.5 Vacíos en el Agregado Mineral (V.A.M), C.A (85-100)

Figura 4.21. Comparación de VAM C.A (85-100)



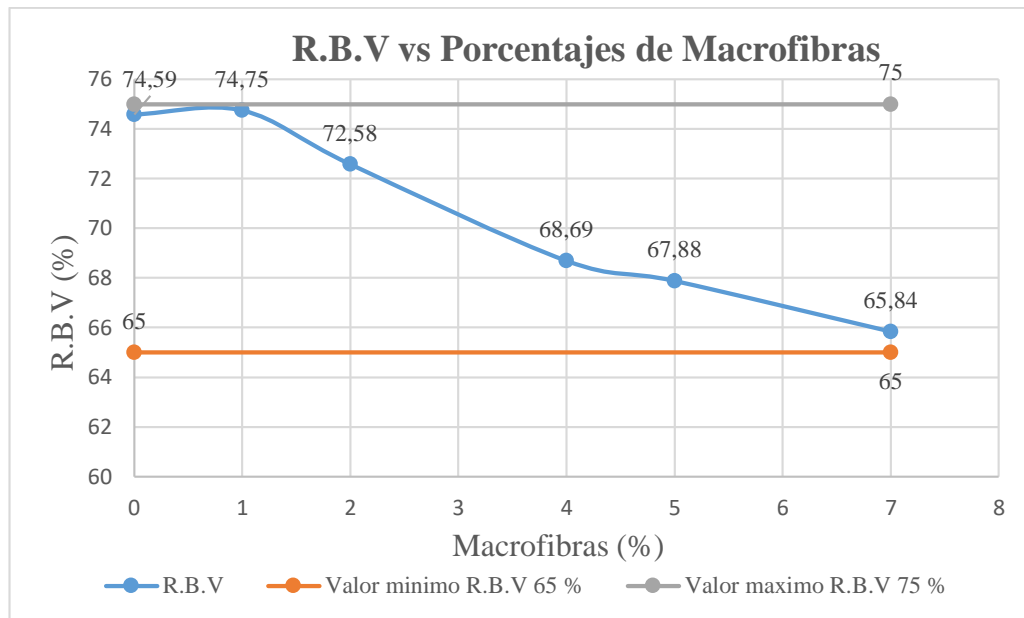
Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

En la Figura 4.21 se puede apreciar que existe una tendencia de crecimiento en el porcentaje de vacíos en el agregado mineral. Se puede dar a consecuencia de la dificultad que existe al momento de compactar debido a la forma alargada de las fibras. Así mismo, se resalta que todas las muestras ensayadas superan el límite inferior establecido (13 % de VAM) en la Tabla 2.13 de la presente investigación.

4.7.6 Relación Betún Vacíos (R.B.V), C.A (85-100)

Figura 4.22. Comparación de RBV C.A (85-100)



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

Según la Figura 4.22 de los resultados del porcentaje de RBV para cada muestra, se evidencia que existe una reducción de los mismos a medida que el porcentaje de macrofibras se incrementa, lo cual se da por la gran cantidad de aire en las mezclas con el uso de este material.

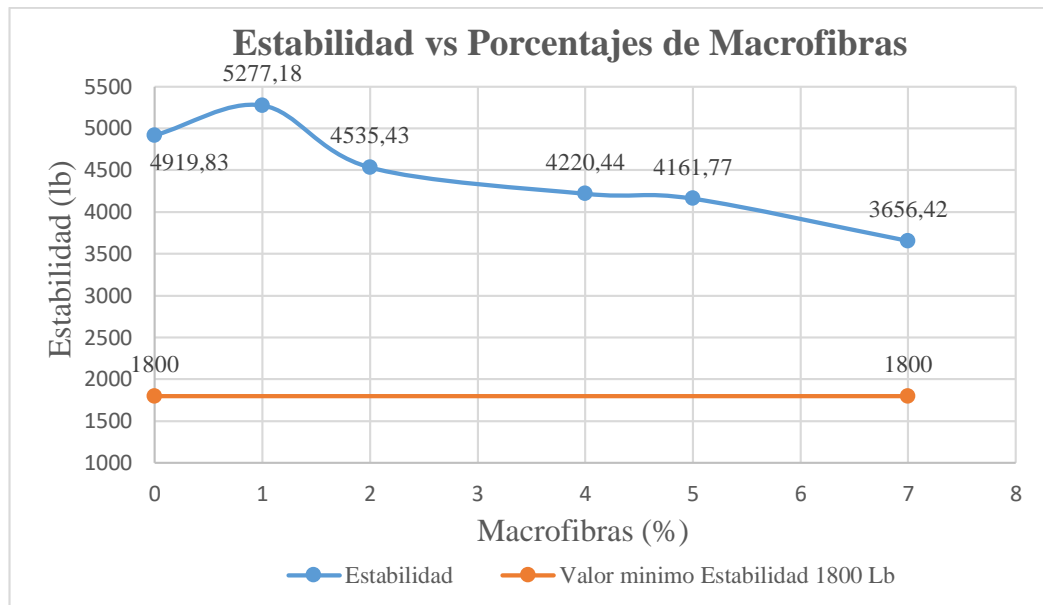
Tabla 4.52. Resumen de resultados de las características mecánicas de las mezclas asfálticas a diferentes porcentajes de macrofibras C.A (60-85)

% de macrofibras	% de asfalto	Densidad real (gr/cm³)	% vacíos en la mezcla (Vv)	% vacíos de agregado (VAM)	% vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
0,00	5,50	2,366	4,36	17,34	74,88	4919,83	8,98
1,00	5,50	2,381	4,31	17,38	75,22	5277,18	9,17
2,00	5,50	2,393	4,42	17,56	74,92	4535,43	9,72
4,00	5,50	2,408	4,99	18,21	72,61	4220,44	12,05
5,00	5,50	2,410	5,51	18,74	70,59	4161,77	13,27
7,00	5,50	2,416	6,46	19,73	67,24	3656,42	13,98

Fuente: Elaboración propia

4.7.7 Estabilidad C.A (60-85)

Figura 4.23. Comparación de estabildades C.A (60-85)



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

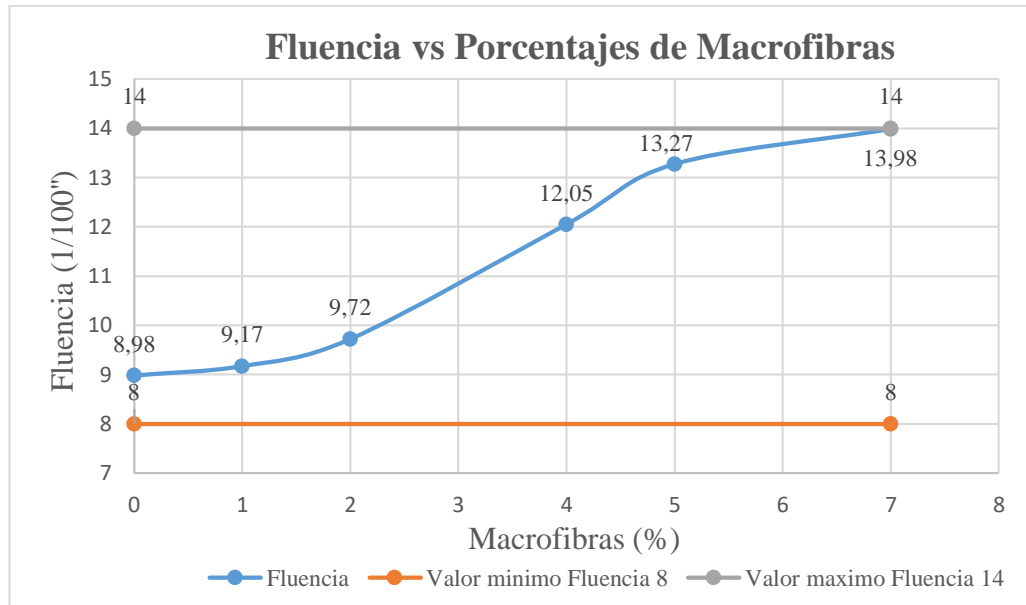
El valor de la estabilidad aumenta al incrementar el porcentaje de fibras hasta un punto máximo, a partir del cual la estabilidad decrece. Se puede notar que las mezclas que contienen 1 % de macrofibras presentan valores de estabilidad mayores que la mezcla de referencia, se evidencia que las fibras a este porcentaje actúan como anclaje entre los áridos y también se debe a la alta cohesión que tiene el cemento asfáltico 60-85.

La diferencia entre el convencional y la mezcla al 1 % de macrofibras, aumenta la capacidad de carga en un valor de 357,34 lb que representa un incremento de estabilidad de 7,26 % en comparación con la mezcla convencional.

Por otro lado, las mezclas que contienen 2 %, 4 %, 5 % y 7 % de fibras presentan una disminución considerable de estabilidad con valores de estabilidad dentro del límite mínimo, debido la mala compactación que provocan mayores vacíos y por ende disminuye su estabilidad.

4.7.8 Fluencia C.A (60-85)

Figura 4.24. Comparación de fluencias C.A (60-85)



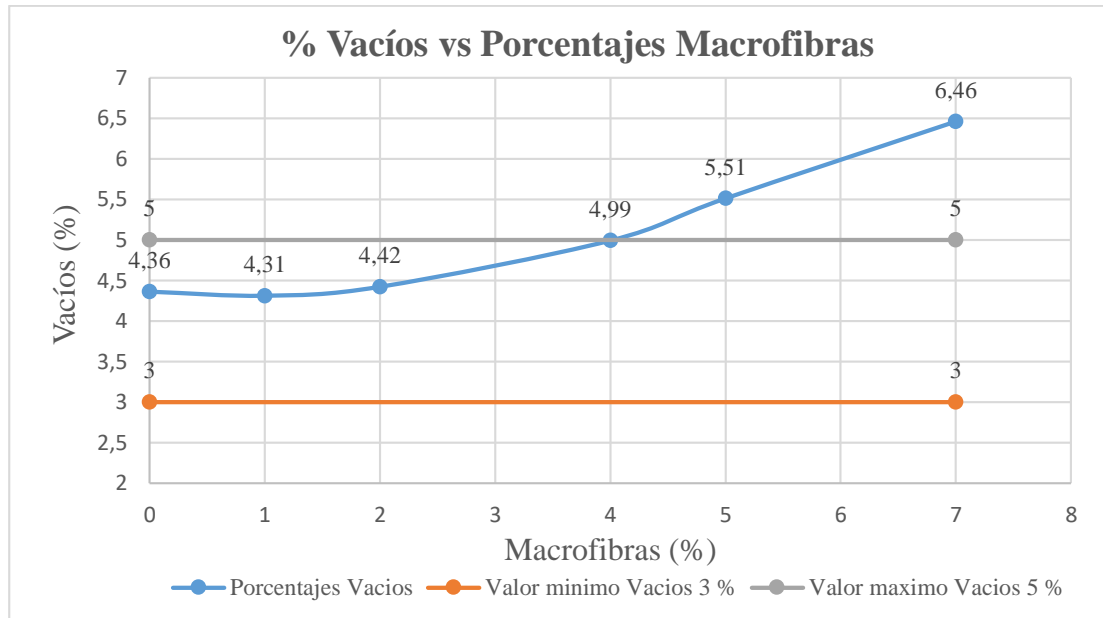
Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

Analizando el Flujo que se presenta en las mezclas asfálticas con macrofibras, se puede notar que todas se encuentran con valores de flujo dentro del rango establecido por Norma, de 8 a 14. Se evidencia que la fibra mejora la fluencia, considerando un porcentaje óptimo de asfalto.

4.7.9 Porcentajes de vacíos C.A (60-85)

Figura 4.25. Comparación del porcentaje de vacíos C.A (60-85)



Fuente: Elaboración propia

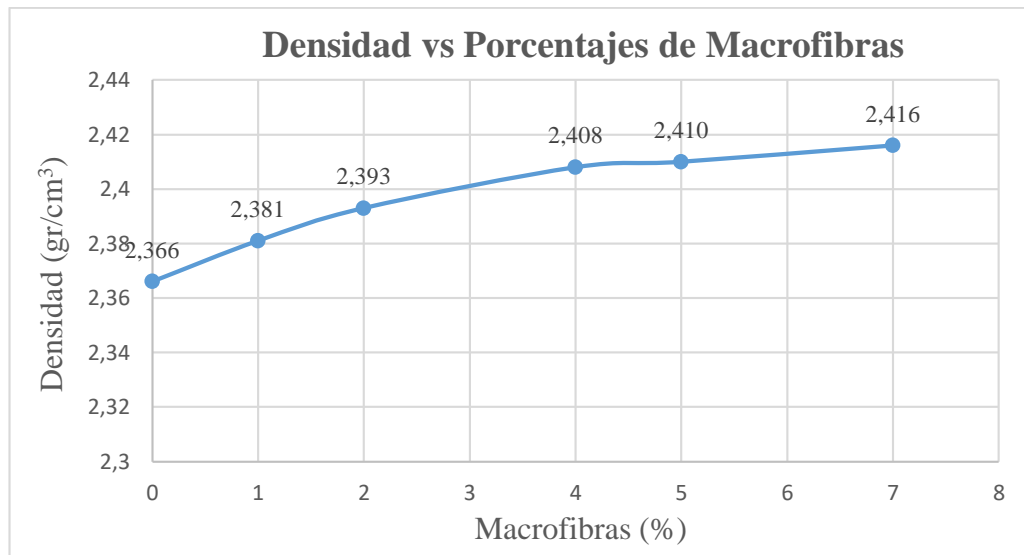
Análisis de resultados

Se observa que el porcentaje de vacíos obtenido para la incorporación de 1 % de macrofibras decrece, debido que las fibras cubren cierto porcentaje de vacíos de la convencional.

La incorporación de macrofibras desde el 4 % al 7 % a la mezcla genera mayor cantidad de vacíos, los cuales están fuera de los límites establecidos, ya que a estos porcentajes se van formando grumos o grupos de fibras provocando gran cantidad de vacíos.

4.7.10 Densidad C.A (60-85)

Figura 4.26. Comparación de densidades C.A (60-85)



Fuente: Elaboración propia

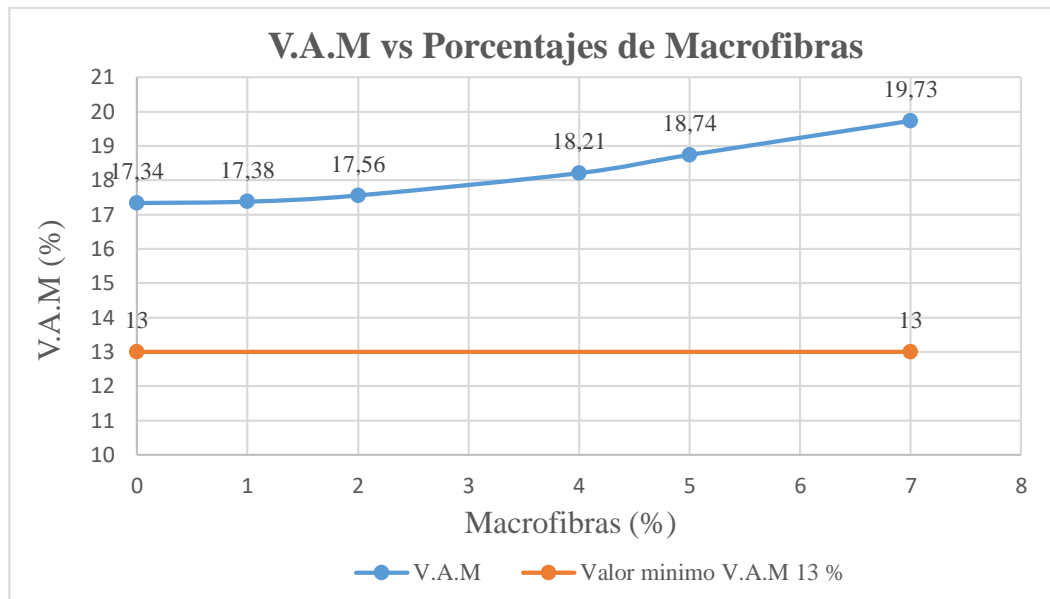
Análisis de resultados

Se puede notar el aumento de las densidades para aquellas muestras que presentan o contienen mayor contenido de macrofibras. Esto se debe a que la densidad de las fibras es mayor que el agregado mineral y el del cemento asfáltico, lo cual incrementa la densidad de 2,366 gr/cm³ a 2,416 gr/cm³ en las muestras ensayadas.

Una de las características más sobresalientes de las macrofibras es su alta densidad, situación que se ve reflejada en los resultados.

4.7.11 Vacíos en el Agregado Mineral (V.A.M), C.A (60-85)

Figura 4.27. Comparación de VAM C.A (60-85)



Fuente: Elaboración propia

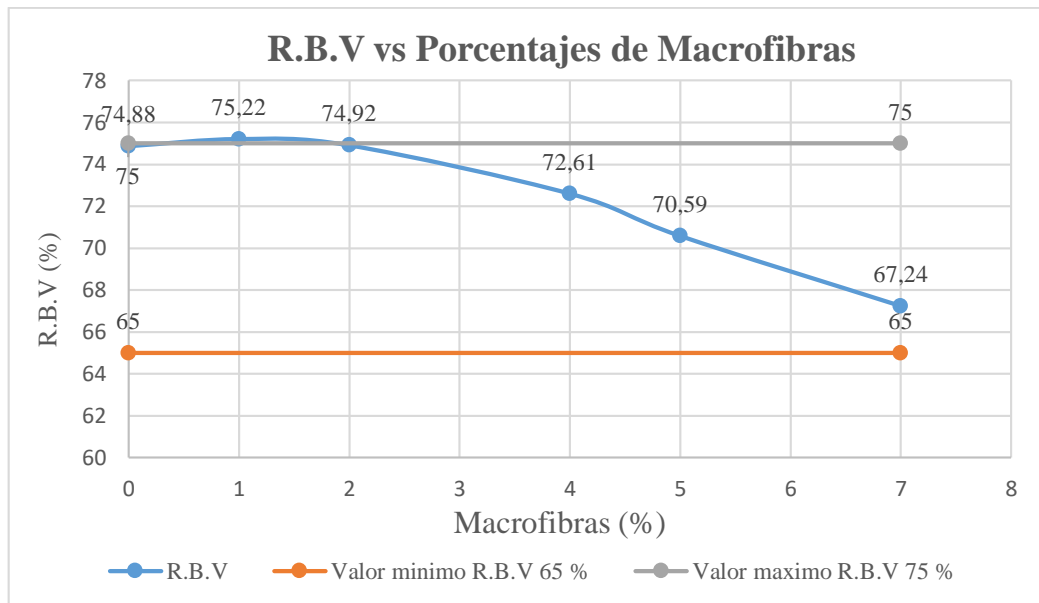
Análisis de resultados

El V.A.M, representa el espacio disponible para acomodar el “volumen efectivo de asfalto” y el volumen de vacíos en la mezcla, mediante este concepto se procede a anañizar los resultados obtenidos.

Se puede apreciar una tendencia de crecimiento del V.A.M, mientras se incrementa el porcentaje de macrofibras, como consecuencia de la dificultad que existe al momento de compactar la muestra. Así mismo, se resalta que todas las muestras ensayadas superan el límite inferior establecido.

4.7.12 Relación Betún Vacíos (R.B.V), C.A (60-85)

Figura 4.28. Comparación de RBV C.A (60-85)



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

Se observa que el porcentaje de RBV obtenido al 1 % de macrofibras se incrementa a un 0,22 % fuera del límite superior, se representa al restar los vacíos de aire del VAM, y dividirlo entre el VAM.

A partir de la incorporación de fibras del 2 % la curva va decreciendo hasta el 7 %, lo cual significa el aumento de los vacíos en la muestra.

4.8 ANÁLISIS DE PRECIOS DE PRODUCCIÓN PARA LAS DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS

Es muy importante tener en cuenta que el precio de producción es uno de los factores más relevantes a considerar en los proyectos de ingeniería, por lo tanto, mientras más eficiente sea la labor de estas, menos recursos se invertirán en su producción y a su vez el precio final será menor.

Para la presente investigación se analizará los precios de producción para las diferentes mezclas asfálticas.

4.8.1 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica C.A (85-100).

Tabla 4.53. Dosificación de la mezcla asfáltica C.A (85-100)

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional	
Materiales	Porcentaje
Grava 3/4"	18,92
Gravilla 3/8"	31,21
Arena triturada	44,46
Cemento asfáltico	5,41

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2370,00 kg/m³

Tabla 4.54. Dosificación para 1 m³ de mezcla asfáltica C.A (85-100)

Dosificación para un metro cúbico				
Materiales	Peso (Kg)	Porcentaje (%)	Peso esp. (Kg/m³)	Volumen (m³)
Cemento asfáltico	128,22	5,41	1004,00	
Grava de 3/4"	448,40	18,92	2740,00	0,164
Gravilla de 3/8"	739,68	31,21	2710,00	0,273
Arena triturada	1053,70	44,46	2690,00	0,392

Fuente: Elaboración propia

Se realiza un cálculo de los precios de producción para 1 m³ de la mezcla asfáltica convencional, a continuación, se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.55. Precio unitario para 1 m³ de la mezcla asfáltica C.A (85-100)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Proyecto de Grado			Actividad N° 1	
Actividad:	Carpeta de concreto asfaltico C.A (85-100)	Cantidad :	1,00	
Unidad :	m³	Moneda .	Bs	
Descripcion	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total
1 Materiales				
1 Grava de 3/4"	m ³	0,200	150,00	30,00
2 Grava de 3/8"	m ³	0,330	150,00	49,50
3 Arena triturada	m ³	0,470	125,00	58,75
4 Cemento asfaltico	kg	128,22	8,40	1077,05
5 Diesel	lt	18,00	3,74	67,32
Total Materiales				1282,62
2 Mano de Obra				
1 Ayudante de operador	hr	0,03	16,00	0,45
2 Capataz	hr	1,80	25,00	45,00
3 Operador	hr	0,82	20,00	16,40
4 Operador de equipo liviano	hr	0,08	18,00	1,48
5 Operador de planta	hr	0,09	23,19	2,09
6 Obrero	hr	0,07	12,07	0,87
7 Chofer	hr	0,00	18,00	0,02
Sub total mano de obra				66,30
Cargas Sociales 65% del sub total M. O.			65,00	43,09
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)			14,94	16,34
Total Mano de Obra				125,74
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas				
1 Compactador rodillo liso	hr	0,035	303,85	10,63
2 Escoba mecanica autop	hr	0,028	71,55	2,00
3 Planta de calentamiento de asfalto	hr	0,09	965,23	86,87
4 Compactador neumatico Tsp 1000	hr	0,084	332,81	27,96
5 Terminadora de asfalto	hr	0,075	669,06	50,18
6 Cargador frontal de ruedas = 950 m ³	hr	0,0001	421,29	0,04
7 Volqueta=12 m ³	hr	0,001	227,87	0,23
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra			5,00	6,29
Total Eq, Maq. y Herr.				184,20
4 Gastos Generales y Adminsitrativos				
Gastos Generales 10% (1+2+3)				159,26
5 Utilidad				
Utilidad 10% (1+2+3+4)				175,18
6 Impuestos				
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)				59,54
Total Item Precio Unitario				1986,53

Fuente: Elaboración propia

4.8.2 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibra C.A (85-100)

Tabla 4.56. Dosificación de la mezcla asfáltica al 1 % macrofibra C.A (85-100)

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional	
Materiales	Porcentaje
Grava 3/4"	18,72
Gravilla 3/8"	30,88
Arena triturada	43,99
Cemento asfáltico	5,41
Macrofibras	1,00

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2384,00 kg/m³

Tabla 4.57. Dosificación para 1 m³ de mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras C.A (85-100)

Dosificación para un metro cúbico				
Materiales	Peso (Kg)	Porcentaje (%)	Peso esp. (Kg/m³)	Volumen (m³)
Cemento asfáltico	128,97	5,41	1004,00	
Macrofibras	23,84	1,00	8000,00	
Grava de 3/4"	446,28	18,72	2740,00	0,163
Gravilla de 3/8"	736,18	30,88	2710,00	0,272
Arena triturada	1048,72	43,99	2690,00	0,390

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un cálculo de los precios de producción para 1 m³ de la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras, a continuación, se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.58. Precio unitario para 1 m³ de mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras C.A (85-100)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Proyecto de Grado			Actividad N° 2	
Atividad:	Carpeta de concreto asfáltico C.A (85-100) al 1% macrofibras	Cantidad :	1,00	
Unidad :	m³	Moneda .	Bs	
Descripcion	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total
1 Materiales				
1 Grava de 3/4"	m ³	0,196	150,00	29,34
2 Grava de 3/8"	m ³	0,326	150,00	48,96
3 Arena triturada	m ³	0,468	125,00	58,50
4 Cemento asfáltico	kg	128,97	8,40	1083,35
5 Mcrofibras	kg	23,84	6,50	154,96
6 Diesel	lt	18,00	3,74	67,32
Total Materiales				1442,43
2 Mano de Obra				
1 Ayudante de operador	hr	0,03	16,00	0,45
2 Capataz	hr	1,80	25,00	45,00
3 Operador	hr	0,82	20,00	16,40
4 Operador de equipo liviano	hr	0,08	18,00	1,48
5 Operador de planta	hr	0,09	23,19	2,09
6 Obrero	hr	0,07	12,07	0,87
7 Chofer	hr	0,00	18,00	0,02
Sub total mano de obra				66,30
Cargas Sociales 65% del sub total M. O.			65,00	43,09
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)			14,94	16,34
Total Mano de Obra				125,74
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas				
1 Compactador liso	hr	0,035	303,85	10,63
2 Escoba mecanica atop	hr	0,028	71,55	2,00
3 Planta de calentamiento de asfalto	hr	0,09	965,23	86,87
4 Compactador neumatico Tsp 1000	hr	0,084	332,81	27,96
5 Terminadora de asfalto	hr	0,075	669,06	50,18
6 Cargador frontal de ruedas = 950 m ³	hr	0,0001	421,29	0,04
7 Volqueta=12 m ³	hr	0,001	227,87	0,23
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra			5,00	6,29
Total Eq, Maq. y Herr.				184,20
4 Gastos Generales y Admistrativos				
Gastos Generales 10% (1+2+3)				175,24
5 Utilidad				
Utilidad 10% (1+2+3+4)				192,76
6 Impuestos				
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)				65,52
Total Item Precio Unitario				2185,88

Fuente: Elaboración propia

4.8.3 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica C.A (60-85)

Tabla 4.59. Dosificación de la mezcla asfáltica C.A (60-85)

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional	
Materiales	Porcentaje
Grava 3/4"	18,90
Gravilla 3/8"	31,19
Arena triturada	44,41
Cemento asfáltico	5,50

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2366,00 kg/m³

Tabla 4.60. Dosificación para 1 m³ de mezcla asfáltica C.A (60-85)

Dosificación para un metro cúbico				
Materiales	Peso (Kg)	Porcentaje (%)	Peso esp. (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento asfáltico	130,13	5,50	1002,00	
Grava de 3/4"	447,17	18,90	2740,00	0,163
Gravilla de 3/8"	737,96	31,19	2710,00	0,272
Arena triturada	1050,74	44,41	2690,00	0,391

Fuente: Elaboración propia

Se realiza un cálculo de los precios de producción para 1 m³ de la mezcla asfáltica, a continuación, se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.61. Precio unitario para 1 m³ de la mezcla asfáltica C.A (60-85)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N° 3	
Atividad: Carpeta de concreto asfaltico C.A (60-85)		Cantidad :	1,00		
Unidad : m³		Moneda .	Bs		
Descripcion		Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total
1 Materiales					
1	Grava de 3/4"	m ³	0,200	150,00	30,00
2	Grava de 3/8"	m ³	0,330	150,00	49,50
3	Arena triturada	m ³	0,470	125,00	58,75
4	Cemento asfaltico	kg	130,13	12,41	1614,91
5	Diesel	lt	18,00	3,74	67,32
Total Materiales					1820,48
2 Mano de Obra					
1	Ayudante de operador	hr	0,03	16,00	0,45
2	Capataz	hr	1,80	25,00	45,00
3	Operador	hr	0,82	20,00	16,40
4	Operador de equipo liviano	hr	0,08	18,00	1,48
5	Operador de planta	hr	0,09	23,19	2,09
6	Obrero	hr	0,07	12,07	0,87
7	Chofer	hr	0,00	18,00	0,02
Sub total mano de obra					66,30
Cargas Sociales 65% del sub total M. O.				65,00	43,09
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)				14,94	16,34
Total Mano de Obra					125,74
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	Compactador rodillo liso	hr	0,035	303,85	10,63
2	Escoba mecanica autop	hr	0,028	71,55	2,00
3	Planta de calentamiento de asfalto	hr	0,09	965,23	86,87
4	Compactador neumatico Tsp 1000	hr	0,084	332,81	27,96
5	Terminadora de asfalto	hr	0,075	669,06	50,18
6	Cargador frontal de ruedas = 950 m ³	hr	0,0001	421,29	0,04
7	Volqueta=12 m ³	hr	0,001	227,87	0,23
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra				5,00	6,29
Total Eq, Maq. y Herr.					184,20
4 Gastos Generales y Adminsitrativos					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					213,04
5 Utilidad					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					234,35
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					79,65
Total Item Precio Unitario					2657,46

Fuente: Elaboración propia

4.8.4 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibra C.A (60-85)

Tabla 4.62. Dosificación de la mezcla asfáltica al 1 % macrofibra C.A (60-85)

Dosificación de la mezcla asfáltica convencional	
Materiales	Porcentaje
Grava 3/4"	18,70
Gravilla 3/8"	30,86
Arena triturada	43,94
Cemento asfáltico	5,50
Macrofibras	1,00

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2381,00 kg/m³

Tabla 4.63. Dosificación para 1 m³ de mezcla asfáltica al 1 % macrofibra C.A (60-85)

Dosificación para un metro cúbico				
Materiales	Peso (Kg)	Porcentaje (%)	Peso esp. (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento asfáltico	130,96	5,50	1002,00	
Macrofibras	23,81	1,00	8000,00	
Grava de 3/4"	445,25	18,70	2740,00	0,162
Gravilla de 3/8"	734,78	30,86	2710,00	0,271
Arena triturada	1046,21	43,94	2690,00	0,389

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un cálculo de los precios de producción para 1 m³ de la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras, a continuación, se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.64. Precio unitario para 1 m³ de mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras C.A (60-85)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Proyecto de Grado			Actividad N° 4	
Atividad:	Carpeta de concreto asfáltico C.A (60-85) al 1% macrofibras	Cantidad :	1,00	
Unidad :	m³	Moneda .	Bs	
Descripcion	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total
1 Materiales				
1 Grava de 3/4"	m ³	0,194	150,00	29,10
2 Grava de 3/8"	m ³	0,271	150,00	40,67
3 Arena triturada	m ³	0,389	125,00	48,62
4 Cemento asfáltico	kg	130,96	12,41	1625,21
5 Macrofibras	kg	23,81	6,50	154,77
6 Diesel	lt	18,00	3,74	67,32
Total Materiales				1965,68
2 Mano de Obra				
1 Ayudante de operador	hr	0,03	16,00	0,45
2 Capataz	hr	1,80	25,00	45,00
3 Operador	hr	0,82	20,00	16,40
4 Operador de equipo liviano	hr	0,08	18,00	1,48
5 Operador de planta	hr	0,09	23,19	2,09
6 Obrero	hr	0,07	12,07	0,87
7 Chofer	hr	0,00	18,00	0,02
Sub total mano de obra				66,30
Cargas Sociales 65% del sub total M. O.			65,00	43,09
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)			14,94	16,34
Total Mano de Obra				125,74
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas				
1 Compactador rodillo liso	hr	0,035	303,85	10,63
3 Escoba mecanica autop	hr	0,028	71,55	2,00
4 Planta de calentamiento de asfalto	hr	0,09	965,23	86,87
5 Compactador neumatico Tsp 1000	hr	0,084	332,81	27,96
6 Terminadora de asfalto	hr	0,075	669,06	50,18
7 Cargador frontal de ruedas = 950 m ³	hr	0,0001	421,29	0,04
8 Volqueta=12 m ³	hr	0,001	227,87	0,23
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra			5,00	6,29
Total Eq, Maq. y Herr.				184,20
4 Gastos Generales y Adminsitrativos				
Gastos Generales 10% (1+2+3)				227,56
5 Utilidad				
Utilidad 10% (1+2+3+4)				250,32
6 Impuestos				
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)				85,08
Total Item Precio Unitario				2838,58

Fuente: Elaboración propia

Resumen de costos

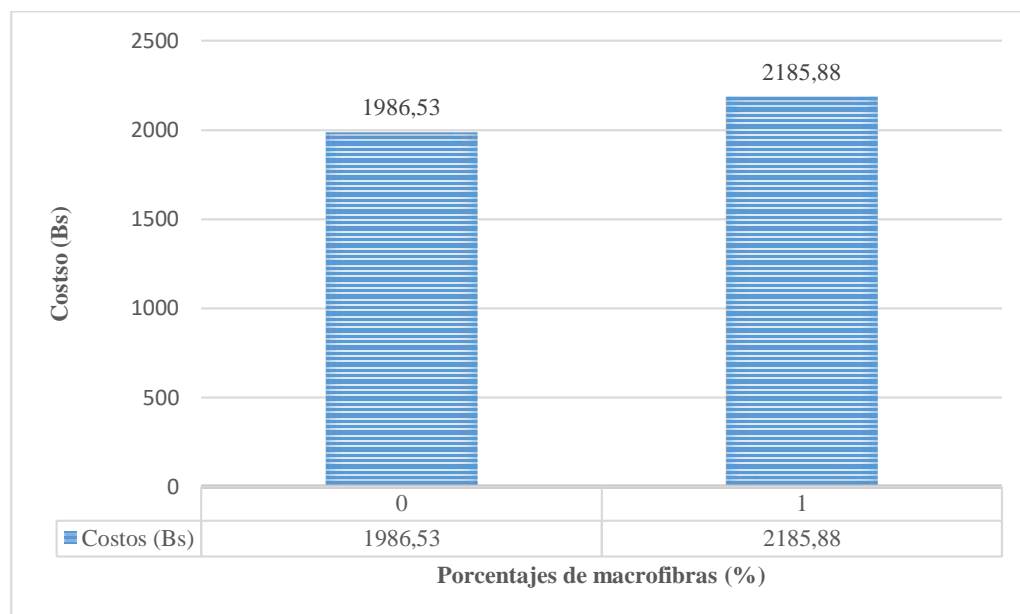
Tabla 4.65. Resumen de costos C.A (85-100)

Identificación	Costo unitario (bs/m ³)
Mezcla asfáltica C.A (85-100)	1986,53
Mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras C.A (85-100)	2185,88

Fuente: Elaboración propia

Comparación de costos

Figura 4.29. Comparación de costos C.A (85-100)



Fuente: Elaboración propia

Resumen de costos

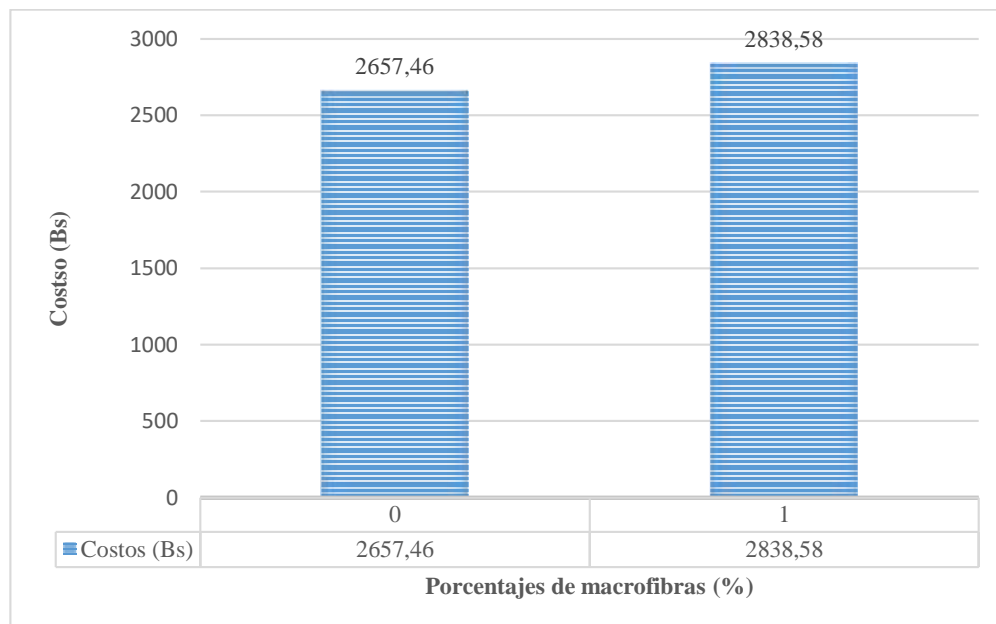
Tabla 4.66. Resumen de costos C.A (60-85)

Identificación	Costo unitario (bs/m ³)
Mezcla asfáltica C.A (60-85)	2657,46
Mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras C.A (60-85)	2838,58

Fuente: Elaboración propia

Comparación de costos

Figura 4.30. Comparación de costos C.A (60-85)



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados de costos

Tabla 4.67. Diferencia de costos al 1 % de macrofibras

Identificación	Costo (Bs/m³)
Mezcla asfáltica C.A (85-100)	1986,53
Mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras C.A (85-100)	2185,88
Mezcla asfáltica C.A (60-85)	2657,46
Mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras C.A (60-85)	2838,58

Fuente: Elaboración propia

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 como un medidor fiel del aprovechamiento de los recursos materiales, laborales y financieros en el proceso de producción, porque junto con los indicadores del volumen de realización, determina el nivel de ganancia que obtiene la organización.

Luego de realizar la comparación de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas con macrofibras, diseñadas al 1 %, 2 %, 4 %, 5 % y al 7 % se puede resaltar que, según los datos obtenidos, la utilización de macrofibras presenta una validez para su aceptación en los porcentajes que se encuentran comprendidos entre el 1 % a 2 %. Siendo que el 1 % es el porcentaje óptimo de macrofibras a ser añadida en una mezcla asfáltica, ya que con este porcentaje presenta mejores resultados en cuanto a estabilidad, fluencia, y densidad, tanto con en el C.A Betunel 85-100, como con en el C.A Betuflex 60-85.

Del análisis comparativo del presupuesto para las mezclas asfálticas convencionales y una mezcla asfáltica con la incorporación del 1 % de macrofibras, se observa que el costo de las mezclas asfálticas con macrofibras son mayores respecto al costo de una mezcla convencional, esto debido al elevado costo de la fibra.

La mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras tiene un costo mayor de un 8,82 % más con respecto a una mezcla de C.A Betunel 85-10 y un 6,38 % mayor a comparación de la mezcla con el C.A Betuflex 60-85, mismas que se muestran en el gráfico comparativo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Los ensayos realizados a los agregados gruesos, finos y como en el cemento asfáltico demuestran que son de buena calidad y, por lo tanto, aptos para la elaboración de mezclas asfálticas al cumplir con las especificaciones correspondientes de cada ensayo de esta investigación.
- ✓ Se realizó el diseño de las mezclas asfálticas empleando el método de diseño Marshall, del cual se obtuvo las propiedades y sus características, a fin de determinar el porcentaje de cemento óptimo cuyo valor es 5,41 % Betunel (85-100) y 5,50 % del Betuflex (60-85), para luego usarlo en la mezcla con macrofibras.
- ✓ Del análisis de estabilidad de las mezclas asfálticas estudiadas con macrofibras, se puede establecer que los mejores comportamientos se producen al 1 % de macrofibras, donde se incrementa 1,73 % más que una mezcla asfáltica convencional C.A Betunel (85-100) y del 7,26 % en comparación a la mezcla modificada con polímero Betuflex (60-85).
- ✓ Para la variable fluencia en las mezclas asfálticas se evidencia una curva de ascenso cada vez que se va incorporando porcentajes de macrofibras, tanto para la mezcla convencional (85-100) como para el (60-85), con valores de flujos dentro del rango establecido de 8 a 14.
- ✓ Se constata un incremento de las densidades para todas aquellas muestras que contienen mayor porcentaje de macrofibras, debido a que la densidad de las macrofibras incorporadas en reemplazo de los agregados es mucho mayor.
- ✓ Los porcentajes de vacíos en las mezclas asfálticas presentan un decrecimiento al 1 % de macrofibras, al comparar a los dos tipos de mezclas utilizadas como patrón en este proyecto; cabe también mencionar que al 2 % de macrofibras se presenta una mayor cantidad de vacíos por la dificultad en la compactación.
- ✓ Finalmente, se concluye que no es favorable la utilización de macrofibras en porcentajes mayores al 1 %, pues al incrementar su porcentaje, la estabilidad tiende a disminuir y los valores de flujo y espacios de vacíos a aumentar.

- ✓ De acuerdo a la hipótesis planteada, se concluye que, si diseñamos una mezcla asfáltica utilizando macrofibras, sus propiedades cumplen con las especificaciones de diseño, por lo tanto, este material puede ser considerado como alternativa técnica para la elaboración de mezclas.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar los ensayos a los agregados a ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas para conocer su calidad y propiedades, además de comprobar si cumplen con los requerimientos para su empleo.
- ✓ En la elaboración de las briquetas controlar las temperaturas especificadas tanto en el calentamiento de los agregados como en la mezcla de los mismos y en la compactación.
- ✓ Realizar el mezclado de los agregados con el cemento asfáltico de la manera más homogénea posible para evitar la variabilidad de los resultados de la mezcla en los distintos ensayos que se realicen.
- ✓ Compactar las briquetas con el número de golpes requerido según las especificaciones del tipo de tráfico, con los equipos y según el procedimiento descrito del Ensayo Marshall.
- ✓ Ser muy cuidadosos al momento de trabajar con mezclas asfálticas, ya que se trabaja a altas temperaturas, se debe utilizar el equipo de seguridad necesario para la manipulación de los materiales.
- ✓ Es necesario realizar una experimentación a escala real para poder observar cómo es el comportamiento de este material en las mezclas asfálticas.

El aporte de este trabajo estimula la necesidad de seguir investigando más a detalle el comportamiento de las propiedades de las mezclas asfálticas utilizando macrofibras.