

CAPÍTULO I

“INTRODUCCIÓN AL TEMA”

1.1. Introducción

Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos con un ligante asfáltico y conforman una de las partes estructurales más importantes dentro de los pavimentos flexibles que es la capa de rodadura y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda y segura a sus usuarios. Una de las principales causas para el deterioro de los pavimentos es la deficiencia de la calidad de los materiales utilizados, de aquí la necesidad de utilizar materiales que involucren el mejoramiento del comportamiento de las propiedades de la mezcla asfáltica.

En el departamento de Tarija existen regiones con diferentes climas, por lo que se realizan pavimentos utilizando mezclas asfálticas convencionales como también modificadas con polímeros con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas a temperaturas altas y bajas, ya que al adicionar estos agentes cumplen con lo establecido para su utilización en carreteras, pero así mismo ocasionan elevados costos. Se han venido implementando cada vez nuevas ideas que permitan aumentar el desarrollo del mejoramiento de los pavimentos, es por esto que surge el estudio de investigación sobre la adición de ceniza de bagazo de la caña de azúcar como filler para asfaltos, como una forma de mejorar las propiedades del ligante asfáltico y dar solución a ciertos inconvenientes que actualmente se presentan.

El presente estudio busca establecer la incidencia en el comportamiento de las propiedades en mezclas asfálticas al incorporar cenizas de celulosa como filler, buscando obtener un pavimento con mayor durabilidad y disminuyendo así el impacto ambiental que causa este material que es desechado en grandes cantidades.

El aporte teórico es que se profundiza el tema de mezclas asfálticas de acuerdo a normas AASHTO y ASTM, estableciendo el conocimiento de un nuevo material como alternativa en la construcción de asfaltos para mejorar las características mecánicas de

las mezclas convencionales. Se brinda un aporte académico en el campo vial de interés de estudiantes, docentes y profesionales que tengan relación con el área.

1.2. Justificación

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

Es así como se propone la utilización de la ceniza de celulosa como material componente de las mezclas asfálticas, usando como filler o llenante mineral, debido a que no es fácil encontrar un filler natural en grandes cantidades en algunas regiones del Departamento de Tarija y es necesario del mismo para lograr la granulometría exigida para la elaboración de la mezcla asfáltica mediante el método de diseño Marshall. Se utilizará como filler ceniza de bagazo de caña de azúcar, componente que tiene un alto contenido de celulosa y presenta características físicas requeridas. Este residuo es generado y desechado en grandes cantidades por el Ingenio Azucarero de Bermejo I.A.B.S.A ubicado en nuestra región. Su producción es variable, se estima de 40 a 50 toneladas diarias durante periodo de zafra (135 días aproximados por año).

Como aporte social de esta investigación es que se podrá implementar un nuevo material en la construcción de mezclas asfálticas, en busca de mejorar su comportamiento mecánico respecto a las mezclas convencionales, estableciendo su dosificación óptima para diseño y generando otra alternativa para aumentar la calidad de servicio de las carreteras.

1.3. Diseño Teórico

1.3.1. Planteamiento del Problema

1.3.1.1. Situación Problemática

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

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

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

1.3.1.2. Problema

¿De qué manera un estudio, puede detectar el efecto que tiene la adición de ceniza de celulosa como filler, al comportamiento de las mezclas asfálticas?

A continuación se establecerá los elementos que fomentarán las bases para el desarrollo de la presente investigación:

- **Tiempo.-** La duración de los ensayos en laboratorio serán aproximadamente 13 semanas, el trabajo en gabinete tendrá una duración aproximada de 60 días.

- **Factibilidad.-** Los materiales empleados se encuentran en nuestra región, se utilizará asfalto convencional 85-100 obtenido de la institución SEDECA, los agregados pétreos serán de la chancadora GARZÓN y la ceniza de celulosa usadas como filler proviene del Ingenio azucarero I.A.B.S.A (Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima), ubicado en el departamento de Tarija en la provincia Arce municipio Bermejo.
Todos los equipos de laboratorio se encuentran en el departamento de Tarija por lo que es factible realizar todo el estudio.
- **Espacio.-** Los ensayos correspondientes al estudio de investigación se realizaran en el laboratorio de la institución SEDECA Tarija.

1.3.2. Objetivos

1.3.2.1. Objetivo General

Estudiar la influencia de cenizas de celulosa como filler en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas que se producen en la ciudad de Tarija, a través del método Marshall con el fin de detectar posibles variaciones representativas en dichas propiedades.

1.3.2.2. Objetivos Específicos

- Describir la temática de las mezclas asfálticas, propiedades, características, procedimiento de ejecución, ensayos de control y su análisis a través del método Marshall.
- Caracterizar mediante ensayos de laboratorio los materiales componentes de las mezclas asfálticas verificando que cumplan con lo establecido por Normativa.
- Establecer las características, análisis de sus componentes y propiedades físicas de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar como filler.
- Realizar la dosificación y elaboración de briquetas Marshall utilizando cenizas de celulosa como filler variando la cantidad de acuerdo a modalidad

establecida por norma, de tal manera se pueda obtener un efecto de mejoramiento.

- Establecer la dosificación óptima de asfalto, filler y agregados; de tal manera que la mezcla asfáltica obtenida cumpla con especificaciones de Norma AASHTO y ASTM.
- Construir los gráficos de densidad, % vacíos de la mezcla, % VAM, % RBV, estabilidad y fluencia de acuerdo a cada uno de los porcentajes de ceniza de celulosa como filler considerados y analizar.
- Determinar la pérdida por desgaste de la mezcla asfáltica con filler de ceniza de bagazo y filler convencional aplicando el ensayo de cántabro de pérdida por desgaste.
- Realizar una comparación de las propiedades mecánicas entre la mezcla asfáltica convencional y la con filler de ceniza de bagazo.
- Establecer conclusiones sobre los resultados obtenidos y recomendaciones del estudio para su aplicabilidad en nuestro medio.

1.3.3. Hipótesis

Realizando un estudio del comportamiento mecánico de las propiedades de las mezclas asfálticas, cuando se cambia el filler convencional por ceniza de celulosa, mediante el método Marshall, se podrá determinar con precisión el efecto en las propiedades más relevantes (densidad, % de vacíos de la mezcla asfáltica, % VAM, % RBV, estabilidad y fluencia) y mediante el ensayo de cántabro de pérdida por desgaste la propiedad de cohesión, estableciendo una propuesta real sobre el aprovechamiento racional de un material que es desechado en grandes cantidades.

1.3.4. Definición de Variables Independientes y Dependientes

1.3.4.1. Variables Independientes

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

- **Agregados:**
 - a. **Agregados grueso.**-Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Para esta investigación debe ser procedente de trituración.
 - b. **Agregado fino.**-Se denominará agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm (No. 4) y 75 μ m (No. 200). El agregado fino deberá proceder de trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.
- **Filler convencional:** Se denominará filler mineral al material que pasa el tamiz No. 200, se compondrá de partículas muy finas de caliza u otra sustancia mineral aprobada no plástica. Estará perfectamente seco y no contendrá grumos, ensayado por el método AASHTO T-37 (ASTM D-546).
- **Filler de ceniza de celulosa (ceniza de bagazo de la caña de azúcar):** Residuo generado del Ingenio azucarero I.A.B.S.A (Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima), ubicado en el departamento de Tarija en la provincia Arce municipio Bermejo.

1.3.4.2. Variables Dependientes

Para evaluar el comportamiento mecánico se analizarán las siguientes propiedades:

- **Estabilidad:** (Marshall) de una probeta, es la carga máxima en kg que soporta una probeta, cuando se la ensaya a una temperatura dada, cargándola en sentido diametral a una cierta velocidad. La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo cargas de tránsito.
- **Fluencia:** (Marshall), es la deformación total expresada en (mm) que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, en el momento de producirse la falla. Es una de las características deseables en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden por (expansión del suelo).

- **% De vacíos de la mezcla:** El porcentaje de vacíos óptimo de diseño de una mezcla asfáltica debe estar entre el 3% y 5%; los contenidos de vacíos menores a 3% puede originar que la mezcla excude y se produzca ahuellamientos a altas temperaturas. Un contenido de vacíos muy alto proporciona pasaje a través de la mezcla, por los cuales puede entrar agua y aire causar deterioro.
- **% VAM (Vacíos del agregado mineral):** Otro parámetro relacionado con el ahuellamiento y la exudación, que están relacionados al contenido de vacíos. El VAM es una propiedad que depende de las propiedades de los agregados de la granulometría y del contenido de asfalto. El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla.
- **% RBV:** Llamados también porcentaje de vacíos llenos de asfalto, es el volumen de vacíos del agregado mineral que han sido llenados por el cemento asfáltico. El VAM abarca asfalto y aire, y por lo tanto el RBV se calcula al restar los vacíos del aire del VMA y luego dividiendo por el VAM y expresarlo el valor final como un porcentaje.
- **Densidad:** La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad de laboratorio.
- **Cohesión:** Es la propiedad que permite mantener unidas todas las partículas del material pétreo proporcionando a la mezcla asfáltica una determinada cohesión, es decir, su poder aglomerante y resistir las sollicitaciones del tránsito sin que se produzcan grandes desplazamientos relativos entre ellas. En resumen la cohesión es la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito.

1.3.4.3. Conceptualización y Operabilidad de Variables

Tabla 1 Operabilidad de Variables

| | VARIABLE | CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIÓN | INDICADOR | VALOR/ACCIÓN |
|--|---|--|--|---|--------------------|
| INDEPENDIENTE | Cemento asfáltico | Material de propiedades aglutinantes, tiene características que varían con cambios de temperatura. | El porcentaje óptimo se determina de acuerdo al método Marshall. | Debe estar entre 4,5-9% del peso del agregado | Norma AASHTO-ASTM. |
| | Agregados | Material pétreo, en forma de fragmentos como parte de una mezcla asfáltica. | La cantidad variará de acuerdo a la dosificación realizada en la M.A.C y M.A con ceniza. | M.A 53% del Agre. Grueso. | Norma AASHTO-ASTM. |
| | | | | M.A 40% del Agre. Fino. M.A 3-7 % filler | |
| Ceniza de celulosa (bagazo de caña de azúcar) como filler. | Residuo generado del Ingenio azucarero I.A.B.S.A. | La cantidad varía de acuerdo a criterio. | Se tomara los porcentajes 3, 5,7%. | Norma AASHTO-ASTM. | |
| DEPENDIENTE | Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas | Se refiere a aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una carga de servicio. | Estabilidad. | Mínima de 1800 Lb. | Norma AASHTO-ASTM. |
| | | | Fluencia. | 8 - 14.(0,01 pulgadas) | |
| | | | % VAM. | Máx. 15%. | |
| | | | % Vacíos en la mezcla. | 3% - 5 %. | |
| | | | % RBV. | 75%-82%. | |
| | | | Densidad. | ----- | |
| | | | Cohesión. | Menor al 25%. | Norma NLT |

Fuente: Elaboración propia

1.4. Diseño Metodológico

1.4.1. Componentes

1.4.1.1. Unidad de Estudio

Comportamiento mecánico de las propiedades de mezclas asfálticas a causa y efecto cuando se usa ceniza de celulosa como filler.

- Estabilidad.
- Fluencia.
- % VAM.
- % RBV.
- % Vacíos de la mezcla.
- Densidad.
- Cohesión.

1.4.1.2. Población

Mezclas asfálticas con cenizas de celulosa (ceniza de bagazo de la caña de azúcar) como filler.

1.4.1.3. Muestra

Se realizará el estudio del comportamiento de la mezcla asfáltica con ceniza de bagazo de la caña de azúcar como filler adicionadas en varios porcentajes a las mezclas asfálticas utilizando agregados de la región.

1.4.1.4. Muestreo

Se respetara los porcentajes de filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar por norma que están comprendidos del 3 % al 7%. Realizaremos 3 briquetas por cada porcentaje de filler y asfalto hasta encontrar el porcentaje óptimo de asfalto y filler y así compararlo con una mezcla convencional. Analizaremos 2 mezclas asfálticas, una convencional y otra con filler de ceniza de celulosa.

1.4.2. Métodos y Técnicas Empleadas

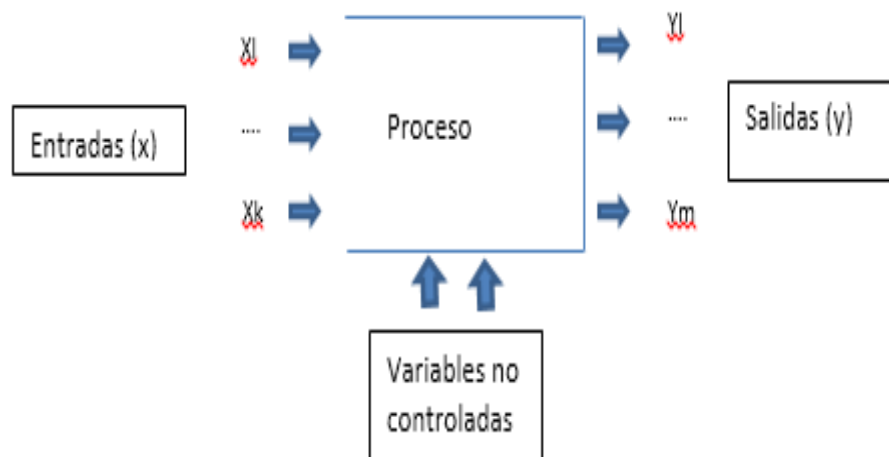
1.4.3. Selección de Métodos y Técnicas

1.4.3.1. Métodos

Diseño Experimental

El diseño experimental es un Método estadístico que se aplica en investigaciones experimentales en diferentes áreas: agricultura, industria, medicina, ciencia de la conducta, etc. Permite conocer mejor las variables involucradas en un proceso como una caja negra mostrado en la figura siguiente:

Figura 1 Tipo Caja Negra



Fuente: Análisis de los resultados de un diseño factorial con datos faltantes

Universidad Politécnica de Cataluña

En este tipo de sistemas se tiene un conjunto de variables de entrada independientes (x) controlables llamadas factores que al participar en un proceso generan variables de salidas dependientes (y) llamadas respuestas. Estas variables pueden o no depender de otras variables más que no son controladas no se requiere conocer la relación de los factores (x) y respuestas (y).

1.4.3.2. Técnica

Se utilizará la técnica experimental con ensayos de laboratorios que caracterizarán dichos materiales (agregados, ceniza de bagazo de la caña de azúcar como filler, cemento asfáltico); luego se procede a diseñar la mezcla asfáltica con el cemento asfáltico (85-100), con la granulometría de los agregados, y haciendo variar los porcentajes del filler de bagazo de la caña de azúcar; obteniendo así el porcentaje óptimo para la mezcla asfáltica.

1.4.4 Técnicas de Muestreo

1.4.4.1 Selección de las Técnicas de Muestreo

Se realizará el estudio del comportamiento mecánico de las propiedades de mezclas asfálticas como son: Densidad, % de vacíos de la mezcla asfáltica, % VAM, Estabilidad, y Fluencia mediante el ensayo de laboratorio Marshall; la cohesión que es la resistencia a la disgregación de las mezclas asfálticas ante los efectos abrasivos originados por el tránsito se determinará mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste, observando los cambios producidos cuando se varía la cantidad de ceniza de celulosa como filler.

Se realizará un muestreo estratificado, aplicando la siguiente fórmula:

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

Dónde:

N= Población.

p = Probabilidad=50%=0.5

q = 100-p = 50 % = 0.5

e = Error.

n=Muestra.

NC= Nivel de confianza.

Z= Valor del nivel de confianza

Para un muestreo estratificado:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n Ni * pi * qi}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Ni * pi * qi}$$

Usando un nivel de confianza del 95 %

Tabla 2 Valores del error para un cierto nivel de confianza

| NC | e |
|----|------|
| 90 | 0.1 |
| 95 | 0.05 |

Fuente: Libro La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres Vol. 2 Autor: Alfonso Rico y Emilio del castillo

Para un NC=95% interpolando obtenemos Z= 1.96; e=0.05

Calculando N:

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2} = 384 \text{ ensayos}$$

Calculando n para la muestra estratificada:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n Ni * pi * qi}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Ni * pi * qi} = 192 \text{ elementos}$$

Tabla 3 Valores para distintos Niveles de Confianza

| NC | Z |
|----|-------|
| 50 | 0.574 |
| 80 | 1.28 |
| 85 | 1.44 |
| 90 | 1.64 |
| 95 | 1.96 |
| 99 | 2.58 |

Fuente: Libro La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres Vol. 2 Autor: Alfonso Rico y Emilio del castillo

Tabla 4 Planilla de Resultados del Muestreo Estratificado

| ENSAYOS | CANTIDAD (Ni) | Pi | qi | Pi*qi | N*pi*qi | wi | ni | ni asumido |
|-----------------------------|---------------|-----|-----|-------|---------|-------|-------|------------|
| Granulometría | 26 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 6.5 | 0.068 | 13.06 | 14 |
| Pesos unitarios | 18 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 4.5 | 0.047 | 9.02 | 10 |
| Desgaste de los ángeles | 10 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 2.5 | 0.026 | 5.00 | 5 |
| Equivalente arena | 14 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 3.5 | 0.036 | 6.91 | 7 |
| % De caras de los agregados | 14 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 3.5 | 0.036 | 6.91 | 7 |
| Pesos Específicos | 22 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 5.5 | 0.057 | 10.94 | 11 |
| Durabilidad | 8 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 2 | 0.021 | 4.03 | 5 |
| Límites | 14 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 3.5 | 0.036 | 6.91 | 7 |
| Penetración | 14 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 3.5 | 0.036 | 6.91 | 7 |
| Punto de ablandamiento | 10 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 2.5 | 0.026 | 5.00 | 5 |
| Punto de inflamación | 10 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 2.5 | 0.026 | 5.00 | 5 |
| Viscosidad | 10 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 2.5 | 0.026 | 5.00 | 5 |
| Peso específico | 10 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 2.5 | 0.026 | 5.00 | 5 |
| Marshall | 180 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 45 | 0.469 | 90.05 | 90 |
| Cántabro | 24 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | 6 | 0.063 | 12.11 | 13 |
| Total | 384 | | | | 96 | 1 | 192 | 196 |

Fuente: Elaboración propia

Total número de ensayos a realizar en todo el estudio 196 ensayos.

Para los ensayos de la resistencia de la estabilidad Marshall se realizarán un total de 54 briquetas como mínimo con porcentajes de cenizas de bagazo de caña de azúcar como filler, más 24 briquetas con cemento asfáltico convencional para encontrar el porcentaje óptimo y 12 briquetas para evaluar la cohesión mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste; en total serán 90 briquetas como mínimo, el valor del número de briquetas total puede variar lo que se verá en el desarrollo de la investigación.

1.4.5. Justificación de Factibilidad de Recursos y Medios Utilizados

El estudio es factible ya que todos los componentes se encuentran en nuestra región. En lo que respecta al tema de recursos, corresponde a los materiales que componen las mezclas asfálticas, el cemento asfáltico C.A. 85-100 con nombre Betupen Plus de procedencia Brasileira, fue proporcionado por la Institución SEDECA de Tarija.

Los agregados utilizados son del departamento de Tarija, los cuales se producen en la Chancadora de áridos Garzón se optó por estos ya que tiene disponibilidad continua durante todo el año.

En cuanto a la ceniza de celulosa usada como filler, se utilizó la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, la misma que proviene Ingenio azucarero I.A.B.S.A (Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima), ubicado en el departamento de Tarija en la provincia Arce municipio Bermejo, ya que la misma contiene arto porcentaje de celulosa y por el tema de la factibilidad de obtención del material su aprovechamiento este material que es desechado y causa daños al medio ambiente.

Todos los equipos de laboratorio se encuentran en el departamento de Tarija; los ensayos correspondientes a la caracterización de los materiales, caracterización del cemento asfáltico y los correspondientes al estudio de investigación se realizarán en el laboratorio de la institución SEDECA Tarija.

1.4.6. Ensayos de Laboratorio a Realizarse

A. Caracterización de los agregados

- Granulometría agregado grueso (AASHTO T27-99 y ASTM E-40).
- Granulometría agregado fino (AASHTO T11-96 y ASTM E-117).
- Granulometría del filler (AASHTO T27-99 y ASTM E-40).
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D 5821-95).
- Equivalente de la arena y agregados finos (AASHTO T176-00 y ASTM D 2419)
- Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (AASHTO T96-99 y ASTM C-131).
- Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO T84 y ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (AASHTO T85-91 y ASTM D-127).
- Peso unitario agregado grueso (ASSHTO T19 y ASTM C-29).
- Peso unitario agregado fino (ASSHTO T19 y ASTM C-29).
- Partículas planas y alargadas (ASTM D-4791).
- Durabilidad (AASHTO T104-99 y ASTM C-88).
- Límites de Atterberg (ASTM D 4318-84).

B. Caracterización del asfalto

- Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (AASHTO T-72 y ASTM E-102).
- Ensayo de penetración (AASHTO T 49-93 y ASTM D5-86).
- Ensayo de punto de ablandamiento (AASHTO T53 y ASTM D-36).

- Ensayo de punto de inflamación (AASHTO T48 y ASTM D-92).
- Ensayo de peso específico (AASHTO T-227 y ASTM D-70).

C. Ensayos a la mezcla asfáltica

- Método Marshall (ASSHTO T-27 y ASTM D-1559).
- Ensayo cántabro de pérdida por desgaste (NLT 159/86 y A0615)

1.5. Procedimiento para el Análisis de Resultados

1.5.1. Tratamiento Estadístico

1.5.1.1. Estadística Descriptiva

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

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

1.5.1.2. Estadística Inferencial Seleccionada para Comprobar la Hipótesis Formulada.

Rama de la Estadística que estudia el comportamiento y propiedades de las muestras y la posibilidad, y límites, de la generalización de los resultados obtenidos a partir de aquellas a las poblaciones que representan. Esta generalización de tipo inductivo, se basa en la probabilidad. Tiene como objetivo, generalizar las propiedades de la población bajo estudio, basado en los resultados de una muestra representativa de la población. Es de gran utilidad para poder comprobar nuestra hipótesis planteada, a través de pruebas planteadas como son la regresión lineal, análisis de varianza,

covarianza y correlaciones. En el caso de que no fuera de tendencia lineal los datos se pensaría en la correlación de Spearman y el Chi cuadrado.

1.6. Productos Esperados con el Procedimiento de la Perspectiva

Tabla 5 Productos Esperados

| N° | ACTIVIDAD | PRODUCTOS ESPERADOS |
|----|---|--|
| 1 | DISEÑO DEL MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO | Establecer la teoría y metodología de acuerdo al estudio concluido. |
| 2 | ENSAYOS DE LOS AGREGADOS | Cumplir con lo establecido en la Norma AASHTO, ASTM. |
| 3 | ENSAYOS DE LOS LIGANTES | Cumplir con lo establecido en la Norma AASHTO, ASTM. |
| 4 | DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS | Diseño de mezcla con filler convencional y modificada con ceniza de celulosa como filler. |
| 5 | COMPORTAMIENTO MECÁNICO | Observar los cambios producidos en densidad, % de vacíos de la mezcla asfáltica, %VAM, %RBV Estabilidad y Fluencia mediante el ensayo de laboratorio Marshall; la cohesión por el ensayo cántabro. |
| 6 | TRATAMIENTO ESTADÍSTICO | Garantizar el nivel de confianza a nuestros resultados. |
| 7 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | Validar nuestra hipótesis planteada. |
| 8 | CONCLUSIONES | Indicar si se cumplen con los objetivos planteados una vez concluido el estudio. |

Fuente: Elaboración propia

1.6.1. Resultados Esperados

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

1.7. Alcance de la Investigación

En alcance de esta investigación, engloba conceptos básicos y parámetros de análisis, comparación, recopilados de varios libros y normas.

Los ensayos realizados están orientados de manera objetiva a comparar y evaluar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica elaborada con ceniza de bagazo de la caña de azúcar como filler.

Para ello se realizará un estudio de los parámetros de diseño que interviene en las mezclas asfálticas adoptando un método de dosificación; así mismo se analizará en laboratorio los materiales que componen la mezcla para verificar que cumplan con ciertas exigencias establecidas en norma, para así poder elaborar briquetas y diseñar mediante el método Marshall su dosificación óptima, obteniendo sus propiedades mecánicas para analizarlas y dar validez a los resultados mediante un tratamiento estadístico.

Para concluir el trabajo se establecerán conclusiones de acuerdo a lo planteado en los objetivos y recomendaciones en base a las experiencias de los ensayos de laboratorio realizados.

CAPÍTULO II

“ESTADO DEL CONOCIMIENTO”

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Conceptos Generales

2.1.1.1. Antecedentes de Asfaltos

El término asfalto, se deriva del vocablo acadio asphatu o asphallo, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos como adjetivo cuyo significado es estable, seguro y al verbo estabilizar o asegurar. De, donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos.

Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt).

Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos.

Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre.

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C excavaciones efectuadas en TellAsmer, a 80 km al Noroeste de Bagdad, permitieron constatar que los sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción de pavimentos interiores de 3 a 4 cm de espesor.

A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dió lugar al aumento en el consumo de este. Fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones.

A continuación se muestra un cuadro donde se puede observar cronológicamente el desarrollo de la utilización del asfalto como material de construcción.

Tabla 6 Historia del asfalto.

| AÑO | USO |
|------------------|---|
| 6000 a. C. | En Sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babel es una de las tantas construcciones en donde se utilizó cómo mortero. |
| 3200- 2600 a. C. | Utilizado por los egipcios para impermeabilizar. |
| 2600- 540 a. C. | Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua. |
| 300 a. C. | Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamamientos. |
| 1802 d. C. | En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras. |
| 1838 d. C. | En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras. |
| 1870 d. C. | Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E. J. DeSmedt, químico belga. |
| 1876 d. C. | Construcción del primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D. C. con asfalto de lago importado. |
| 1902 d. C. | En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles al año. |

Fuente: Conferencia: Esquema Actual y Futuro de Producción de Asfaltos en PEMEX Refinación. Ing.: Jorge Rodríguez.

2.1.1.2. Cemento Asfáltico

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

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

2.1.1.3. Caracterización de los Materiales Asfálticos

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

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

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

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

2.1.1.4. Adhesividad a los Áridos

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

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

2.1.1.5. Reología del Asfalto

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

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

2.1.2. Mezcla Asfáltica

Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico. Se elaboran normalmente en plantas mezcladoras, pero en algunos casos pueden fabricarse en situ. También reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. 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. La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc. Debe ser resistente a las solicitaciones de tránsito a través de su estabilidad. Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno. Se fabrican en centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

2.1.2.1. Clasificación

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

a) Por fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

b) Por la temperatura de puesta en obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso

contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

c) Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.

- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.

- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.

- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

d) Por el tamaño máximo del agregado pétreo.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.

- Mezclas Finas: También llamadas micro aglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

e) Por la estructura del agregado pétreo.

- Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.

- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

f) Por la granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

Tabla 7 Clasificaciones de las mezclas asfálticas por su tipo de mezcla

| Parámetro de Clasificación | Tipo de mezcla |
|---|------------------------------------|
| Fracciones de agregado empleadas. | Masilla. |
| | Mortero. |
| | Concreto. |
| | Macadam. |
| Temperatura de puesta en obra. | En Frío. |
| | En Caliente. |
| Huecos en la mezcla (h). | Cerradas ($h < 6\%$). |
| | Semicerradas ($6\% < h < 12\%$). |
| | Abiertas ($h > 12\%$). |
| | Porosas ($h > 20\%$). |
| Tamaño máximo del agregado (t máx.). | Gruesas (t máx. > 10 mm). |
| | Finas (t máx. < 10 mm). |
| Estructura del agregado. | Con esqueleto mineral. |
| | Sin esqueleto mineral. |
| Granulometría. | Continuas. |
| | Discontinuas. |

Fuente: Alejandro Padilla Rodríguez

2.1.2.2. Propiedades Mecánicas

En general, todos los betunes presentan una serie de características físicas comunes, tales como su color oscuro, la facultad de presentar buena adhesividad con la superficie de las partículas minerales o su inmiscibilidad con el agua.

En cuanto a su comportamiento mecánico, debe decirse que es muy complejo y que depende de varios factores, como son la sollicitación aplicada, el tiempo durante el que ésta actúa o la temperatura ambiente.

Todo este complejo comportamiento trata de explicarse desde el punto de vista global de la reología.

Las propiedades más destacables de los betunes desde el punto de vista de la técnica de construcción de carreteras son las siguientes:

a) Adhesividad

Facilidad que presenta el betún para adherirse a la superficie de una partícula mineral. Esta característica es muy importante en mezclas asfálticas, donde betún y áridos deben formar un conjunto homogéneo y continuo. Para mejorarla, puede recurrirse al uso de activantes.

b) Viscosidad

Se define como la resistencia que oponen las partículas a separarse, debido a los rozamientos internos que ocurren en el seno del fluido.

En el caso de los betunes varía con la temperatura, lo que da una idea de su susceptibilidad térmica.

c) Susceptibilidad térmica

Indica la propensión que presenta el betún a variar ciertas propiedades Teológicas - especialmente la viscosidad- con la temperatura. Gracias a esta propiedad pueden manejarse con facilidad a altas temperaturas, presentando una mayor estabilidad a temperatura ambiente.

d) Plasticidad

Define el comportamiento mecánico del betún ante diferentes estados físicos y temporales de carga. Un betún poco plástico no soportará deformaciones excesivas sin que se produzcan grietas o desconchamientos.

e) Envejecimiento

Fenómeno de degradación y transformación química de los componentes del betún debido a la acción oxidante del aire y la presencia de la humedad y radiaciones solares, haciendo que el betún pierda sus propiedades reológicas y adhesivas.

En base a las propiedades anteriormente descritas, pueden establecerse las características que debería cumplir el ligante ideal:

- Debe ser fluido durante su puesta en obra para que sea trabajable y penetre en profundidad, recubriendo la superficie de los áridos y dándoles adherencia. Para ello se calienta a altas temperaturas, sin llegar a inflamarlo.
- Por el contrario, debe ser suficientemente consistente y viscoso a temperaturas ambiente altas, para que el firme sea poco deformable bajo la acción continuada de las cargas de tráfico, sin que presente fenómenos de fluencia.

A bajas temperaturas debe presentar flexibilidad, para que el pavimento no se vuelva frágil y quebradizo, y trabaje de la forma como se ha ideado

La película de ligante debe tener un espesor suficiente para que el proceso de envejecimiento no le afecte en demasía.

2.1.2.3. Propiedades de las Mezclas Asfálticas para Capas de Rodadura

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario. Por ejemplo, en los países fríos, en particular en el centro de Europa, se han desarrollado mezclas muy impermeables y ricas en mortero.

Si estas mezclas no proporcionan la textura adecuada, se recurre a procedimientos ajenos a la propia mezcla como son la incrustación en la superficie de gravillas o al abujardado en caliente. En las capas de rodadura el uso de agregados de alta calidad y de aditivos se justifica por las solicitaciones a que están sometidas. Actualmente la modificación de ligantes se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados es absolutamente imprescindible, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento.

2.1.2.4. Propiedades de las Mezclas Asfálticas para Capas Inferiores.

Las capas de espesor apreciable de un firme tienen una misión estructural fundamental para absorber la mayor parte de las solicitaciones del tráfico, de forma que éstas lleguen convenientemente disminuidas a las capas inferiores, explanada o cimienta de la carretera.

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de los pavimentos de mezclas en caliente. Las características de espesor de un pavimento y la capacidad de soporte de la subrasante, tiene mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito.

Existen tendencias y países que llegan a utilizar paquetes asfálticos de gran espesor que forman la losa estructural fundamental del firme. En otros casos la función resistente radica en la colaboración con otras capas de materiales granulares o hidráulicos. La tendencia española tradicional para el diseño de las mezclas de las capas gruesas de base ha sido la de elegir granulometrías inspiradas en el Instituto del Asfalto, con muchos huecos. Las mezclas anteriores son netamente abiertas con un esqueleto mineral, en cuyo rozamiento interno radica la función resistente. Estas mezclas se podían considerar inspiradas en las antiguas bases de piedra partida o Macadam tratadas por penetración con ligantes hidrocarbonados.

Tabla 8 Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas

| Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas |
|--|
| Seguridad Resistencia al deslizamiento Regularidad transversal Visibilidad (marcas viales) |
| Comodidad Regularidad longitudinal Regularidad transversal Visibilidad Ruido |
| Durabilidad Capacidad soporte Resistencia a la desintegración superficial |
| Medio ambiente Ruido Capacidad de ser reciclado |
| Trabajabilidad |

Fuente: Alejandro Padilla Rodríguez

Tabla 9 Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas

| Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas |
|--|
| Textura superficial |
| Conductividad hidráulica |
| Absorción de ruido |
| Propiedades mecánicas (en relación con el tráfico) Resistencia a la fisuración por fatiga Resistencia a las deformaciones plásticas permanentes Módulo de rigidez Resistencia a la pérdida de partículas_ |
| Durabilidad (en relación con el clima) Resistencia al lavado por el agua Resistencia a la fisuración térmica Resistencia a la fisuración por reflexión Resistencia al envejecimiento |
| Trabajabilidad Compactabilidad Resistencia a la segregación agregado grueso/fino Resistencia a la segregación agregado/ligante |

Fuente: Alejandro Padilla Rodríguez

2.1.3. Componentes de las Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas están compuestas por agregados, asfalto y vacíos de aire. La calidad de la mezcla asfáltica está directamente ligada con las propiedades y dosificación de los agregados y del cementante, como también a la cantidad de los vacíos de aire. Las mezclas asfálticas constituyen la parte superior de los pavimentos flexibles y proporcionan un medio de distribución de carga y de impermeabilización que protege la estructura del pavimento de los efectos adversos del agua y de la acción del tránsito. Se emplean para la construcción de pavimentos nuevos, para incrementar la resistencia o mantener una calidad satisfactoria en la superficie de un pavimento existente, o para mejorar la resistencia al deslizamiento.

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.

2.1.4. Agregados

Es una mezcla, natural o no, de piedra o gravas trituradas, escorias, arenas finas, arenas gruesas y llenante mineral. Puede contener todos o algunos de estos materiales. Los agregados deben ser limpios, duros y durables. Los agregados son los responsables de la capacidad de carga o resistencia de la mezcla y constituyen entre el 90% y 95% en peso de la mezcla y entre el 75% y 85% en volumen de la misma.

Los agregados pueden ser naturales o procesados. De acuerdo con su tamaño, se divide en gravas, arenas y relleno mineral (llenante mineral o filler).

Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomado de las riveras de los ríos (cantera de río). En este último caso son agregados pétreos aluviales. Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser

usados. La roca se tritura para volver angular la forma de la partícula y para mejorar la distribución (gradación) de los tamaños de las partículas.

a) Agregados naturales

Los agregados naturales son los más empleados en la fabricación de las mezclas asfálticas, y éstos se encuentran en canteras, como así también en depósitos de origen fluvial, y también proceden de la desintegración de rocas, el método de obtención de estos agregados son de vital importancia puesto que de este trabajo dependerá básicamente los resultados que se quieren obtener.

b) Agregados artificiales

Estos agregados proceden bien de procesos industriales de los cuales son un sub producto o bien del tratamiento industrial de los agregados naturales también pueden proceder de la trituración o fragmentación de las rocas, son utilizados en la construcción de las mezclas asfálticas, cuando los proyectos tienen que cumplir especificaciones rígidas, consideraciones ambientales y eventual escases de los agregados naturales.

2.1.4.1. Agregado Grueso

Reciben el nombre de agregados gruesos los materiales retenidos en el tamiz #4 estos materiales serán piedras o escorias machacadas, gravas machacadas o combinaciones de ellas, o en materiales que se presenten naturalmente en estado fracturado (como granito disgregado) o en áridos naturales muy angulosos con texturas superficial áspera o rugosa. Los agregados no estarán recubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales ni contendrán trozos de arcilla ni otros agregados de material fino. El porcentaje de desgaste de los agregados empleados en capas de base, intermedias o de nivelación no será mayor de 50% para el método AASHTO T-96 (ASTM C-131). El porcentaje de desgaste de los áridos empleados en las capas de desgaste no serán mayor del 40% cuando se ensayen por el método AASHTO T-96 (ASTM C-131). Se ensayarán la resistencia a los sulfatos de los áridos gruesos por el método AASHTO T-104 (ASTM C-88).

2.1.4.2. Agregado fino

Según el sistema de clasificación SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa por el tamiz # 4 y queda retenido en el tamiz # 200. Constarán de arena natural y/o material obtenido del machaqueo de piedra, escoria o grava.

Las partículas serán, limpias resistentes, duraderas, moderadamente angulosas y sin revestimiento de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales y no contendrán grumos de arcilla u otros aglomerados de material fino.

Respecto a los fenómenos de adhesividad agregado fino-ligante, hay que tener en cuenta que las acciones químicas o químico – físicas en las partículas de menor tamaño son más complejas. Su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y gran heterogeneidad de su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción, etc.

Se ensayará su resistencia a los sulfatos según el método AASHTO T-104 (ASTM C-88) a menos que ya se sepa que su comportamiento es satisfactorio.

2.1.4.3. Filler

Se define como filler a la fracción que pasa el tamiz Nro. 200, de la mezcla compuesta por los áridos y el filler de aporte.

Existen 2 tipos de filler más utilizados en la construcción de pavimentos flexibles, uno del proceso de trituración de roca natural (filler mineral) y otro proveniente de otra naturaleza como procesos industriales (filler de aporte).

2.1.4.3.1. Filler Mineral

El filler mineral se obtiene mediante la trituración de rocas, donde normalmente se encuentra mezclado con otros tamaños como de tamices Nro. 8, 40, 200 y de características no plástica.

Estará perfectamente seco y no contendrá grumos, ensayado por el método (AASHTO T-37, ASTM D-546) su granulometría cumplirá las siguientes condiciones:

Tabla 10 Granulometría filler mineral.

| Número del tamiz | Porcentaje en peso seco que pasa |
|-------------------------|---|
| 30 | 100 |
| 100 | 90 |
| 200 | 65 |

Fuente: Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones-Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano-Bogotá Colombia 2007

2.1.4.3.2. Filler de Aporte

Se define como filler de aporte, a aquellos que puedan incorporarse a la mezcla por separado y que no provengan de la recuperación de áridos. Podrá estar constituido por los siguientes materiales: Cemento portland, Cal hidratada, Cal hidráulica hidratada y materiales de otra naturaleza como ser provenientes de procesos industriales y deben ser aprobados previamente por la inspección mediante la ejecución de ensayos y experiencias que esta estime corresponder. La inspección está facultada para interpretar el resultado de los ensayos y fundamentar la aceptación o rechazo del material sobre la base de los mismos ensayos o resultados de ensayos no previstos en las especificaciones.

2.1.4.4. Pruebas de Laboratorio

Deben realizarse los siguientes ensayos de laboratorio de acuerdo a normas y los mismos se detallan en el CAPÍTULO 3.

- Granulometría agregado grueso (AASHTO T27-99, ASTM E-40).
- Granulometría agregado fino (AASHTO T11-96, ASTM E-117).
- Granulometría del filler (AASHTO T27-99, ASTM E-40).

- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D 5821-95).
- Equivalente de la arena y agregados finos (AASHTO T176-00, ASTM D 2419)
- Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (AASHTO T96-99, ASTM C-131).
- Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO T84, ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (AASHTO T85-91, ASTM D-127).
- Peso unitario agregado grueso (AASHTO T19, ASTM C-29).
- Peso unitario agregado fino (AASHTO T19, ASTM C-29).
- Partículas planas y alargadas (ASTM D-4791).
- Durabilidad (AASHTO T104-99, ASTM C-88).
- Límites de Atterberg (ASTM D 4318-84).

2.1.5. Asfalto

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución, el petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones y recuperar el asfalto.

2.1.5.1. Clasificación y Especificaciones

a) Asfaltos naturales

Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación.

b) Asfalto derivado del petróleo

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en: Petróleos crudos de base asfáltica y Petróleos crudos de base parafínica.

En la norma INV E-706 se encuentran las especificaciones de este tipo de asfaltos.

Tabla 11 Especificaciones de asfaltos puros

| Característica | Unidades | Norma de ensayo | 60-70 | | 80-100 | |
|---|----------|-----------------|-----------|------|--------|------|
| | | | Mín. | Máx. | Mín. | Máx. |
| Penetración. | 0.1 mm | INV E-706 | 60 | 70 | 80 | 100 |
| Viscosidad dinámica a 60 °C. | P | INV E-716 | 1.50 0 | | 1.000 | |
| Índice de penetración. | | INV E-724 | -1 | +1 | -1 | +1 |
| Perdida por calentamiento en película delgada (163 °C, 5 h) | % | INV E-721 | - | 1.0 | - | 1.0 |
| Ductilidad (25 °C, 5 cm/min. | cm. | INV E-702 | 100 | - | 100 | - |
| Penetración del residuo luego de la pérdida delgada % de | % | INV E-721 | 52 | - | 48 | - |

| | | | | | | |
|---------------------------------|---|-----------|----|-----|----|-----|
| penetración original. | | | | | | |
| Solubilidad en tricloroetileno. | % | INV E-713 | 99 | - | 99 | - |
| Contenido de agua. | % | INV E-704 | - | 0.2 | - | 0.2 |

Fuente: Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones-Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano-Bogotá Colombia 2007

c) Cementos asfálticos sólidos

El producto que se obtiene por destilación, posterior a la extracción de los componentes livianos, con dicho elemento se prepara el cemento asfáltico. Los procesos de refinación para la obtención de asfaltos, dependen del rendimiento en asfalto que presenta el petróleo. En los petróleos que presentan bajo rendimiento, se utiliza la destilación en dos etapas: una a presión atmosférica, seguida de otra al vacío. El proceso más usado es el de destilación en dos etapas; pues produce asfaltos normalmente sin necesidad de instalaciones especiales. Consiste en una separación física de varios constituyentes del petróleo, por la diferencia de sus puntos de ebullición y condensación. Los cementos asfálticos se designan por las letras CA, y se elaboran a partir de una combinación de asfaltos refinados de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación. Se clasifican según su grado de dureza o consistencia, lo cual se mide a través de un ensayo de penetración en décimas de milímetros. Es así como podemos distinguir los tipos CA 40-50, CA 60-70, CA 85-100, CA 120-150, entre otros.

d) Asfalto líquido

Son materiales constituidos por mezclas de cementos asfálticos y solventes de hidrocarbonados de diferentes rangos de destilación, que le imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado. La mayor parte de asfaltos diluidos o rebajados se fabrica por el método intermitente. Se trata de productos líquidos a

temperatura ambiente y que se aplican en frío. Los más utilizados son los de Curado Medio (MC) y los de Curado Rápido (RC) y emulsiones asfálticas convencionales y modificadas con polímeros. Son recomendados con demostrados y excelentes resultados en imprimaciones, lechadas asfálticas, riegos de liga, tratamientos superficiales, micro pavimentos y estabilización de suelos en superficies con necesidades.

Esta denominación se suele acompañar de un número que indica el grado de viscosidad cinemática (en centiestokes). Por ejemplo: RC-250, MC-70.

e) Emulsiones asfálticas

Se componen de dos elementos: agua y cemento asfáltico. Se utilizan en tratamientos superficiales, riegos de adherencia, mezclas abiertas, estabilización de suelos y lechadas asfálticas. Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto, pueden ser catiónicas (C, carga +) o aniónicas (A, carga -). Dependiendo de la velocidad del rompimiento de la emulsión, se clasifican en rompimiento rápido (RR), medio (RM) o lento (RL).

2.1.5.2. Funciones del Asfalto en la Construcción de Pavimento

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir grandes esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. En la construcción de pavimentos puede cumplir las siguientes funciones como aplicación de estas propiedades:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporcionar una íntima 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 y por ende, permite disminuir el espesor.

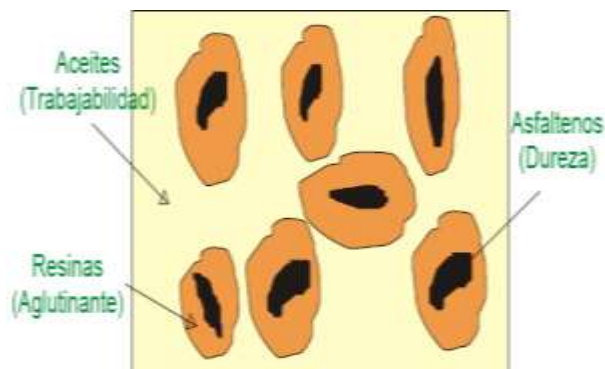
Por sus cualidades impermeables y su durabilidad el asfalto se emplea en construcción para impedir el paso del agua, amortiguar vibraciones y expansiones y servir como pavimento.

2.1.5.3. Composición Química del Asfalto

Es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación.

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinación molecular de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, nitrógeno y otros elementos. El asfalto cuando está disuelto en un solvente puede como el heptano puede separarse en dos partes principales asfaltenos y maltenos. Un concepto más amplio sobre la constitución es que el asfalto consta de tres componentes mayoritarios. El primero se describe como una mezcla de asfaltenos que son moléculas complejas de alto peso molecular, insoluble en hidrocarburos parafínicos y soluble en compuestos aromáticos como el benceno. El segundo componente descrito es una mezcla de resinas y el tercero aceite mineral. Estos tres constituyen un sistema coloidal como el explicado anteriormente. Los asfaltenos cargan con la responsabilidad de las características estructurales y de dureza de los asfaltos, las resinas le proporcionan sus propiedades aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables.

Figura 2 Composición Química del Asfalto



Fuente: Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones-Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano-Bogotá Colombia 2007

En los asfáltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una proporción apreciable el oxígeno, el azufre y el nitrógeno. El 80- 85% de los asfáltenos son átomos de carbono, la relación C: H se encuentra entre 0.8 y 0.87. Los asfáltenos son producto de la condensación de las resinas.

Tabla 12 Composición Química del Asfalto

| Elemento | Concentración (%) |
|-----------|-------------------|
| Carbono | 82- 88% |
| Hidrógeno | 8- 11% |
| Azufre | 0- 6% |
| Oxígeno | 0-1.5% |
| Nitrógeno | 0- 1% |

Fuente: Conferencia Introducción a la química del Asfalto por Ing. German Garzón, Costa Rica 2004.

2.1.5.4. Caracterización del Cemento Asfáltico en Laboratorio

Deben cumplir ciertos ensayos de laboratorio de acuerdo a normativa para el diseño de mezclas asfálticas, los mismos que se detallan en el CAPITULO 3.

- Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (AASHTO T-72, ASTM E-102).
- Ensayo de penetración (AASHTO T 49-93, ASTM D5-86).
- Ensayo de punto de ablandamiento (AASHTO T53, ASTM D-36).
- Ensayo de punto de inflamación (AASHTO T48, ASTM D-92).
- Ensayo de peso específico (AASHTO T-227, ASTM D-70).

2.1.3. Dosificación

El objetivo general del procedimiento de diseño consiste en determinar una combinación y graduación económica de agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) y asfalto que produzca una buena mezcla. Existen diversos métodos para dosificarlos mediante ensayos mecánicos. Quizás los más difundidos sean el Heveem, el Duriez y por encima de todos el más conocido el Marshall.

2.1.3.1. Método Marshall de Diseño de Mezclas

La experiencia que se tiene con el método Marshall es muy amplia y positiva cuando se trata de dosificar hormigones asfálticos (mezclas gruesas, es decir con tamaños máximos superiores a 5 mm, de granulometría continua y no abiertas) en caliente.

El procedimiento completo y detallado que se debe ser seguido se encuentra en la norma del Manual de la Administración Boliviana de Carreteras A0613 y para la fabricación de briquetas A0608 en el Manual de ensayos de Ensayos de Suelos y materiales, asfaltos de la A.B.C.

El método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada).

Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos. Se deben utilizar probetas 64×102 mm de diámetro.

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

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

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

Caracterización de agregados:

- Análisis granulométrico (AASHTO T27-99, ASTM D-422).

- Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D5821-95).
- Equivalente de la arena y finos (AASHTO T176-00, ASTM D 2419).
- Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (AASHTO T96-99, ASTM C-131).
- Peso específico de agregado fino (AASHTO T84-00, ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (AASHTO T85-91, ASTM D-127).

Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son: densidad, estabilidad, deformación, porcentaje de huecos rellenos de betún. La variación de los mismos con respecto al contenido de ligante de la mezcla (expresado normalmente en porcentaje en peso sobre el peso seco de áridos).

Los resultados obtenidos en el ensayo Marshall con el contenido de ligante considerado como óptimo, en especial la densidad, se utiliza también como patrón de control en obra. De esta forma suelen exigirse densidades in situ del 95% de la densidad Marshall correspondiente a ese óptimo para tráfico ligero y del 97 % ó 98% para tráfico pesado. Se comprueba además que el resto de los parámetros Marshall se mantienen próximos a los obtenidos en el laboratorio. Hay que tener en cuenta que si en obra se alcanzan densidades menores a las indicadas, la acción del tráfico podría producir compactaciones diferenciales que se traducirán en irregularidades superficiales.

Procedimiento del Ensayo:

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

Ensayos de Estabilidad y Fluencia

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

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

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

El ensayo se detalla en el capítulo 4.

Tabla 13 Dosificación mezclas en caliente empleando el método Marshall

| CARACTERÍSTICAS | CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO | |
|---------------------------|------------------------------|----------|
| | T0, T1 Y T2 | T3 Y T4 |
| Número de golpes por cara | 75 | |
| Estabilidad (KN) | >10 | 7.5-12.5 |
| Deformación (mm) | 2-3.5 | |
| Huecos en mezcla (%) | | |
| Capa de rodadura | 4.0-6.0 | 3.0-5.0 |
| Capa intermedia | 4.0-8.0 | 3.0-8.0 |

| | | |
|-----------------------|---------|---------|
| Capa de base | 4.0-9.0 | 3.0-9.0 |
| Huecos en áridos (%) | | |
| Mezcla D6 | ≥16 | |
| Mezcla D12 y S12 | ≥15 | |
| Mezcla D20, S20 y G20 | ≥14 | |
| Mezcla S25 y G25 | ≥13 | |

Fuente: Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones-Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano-Bogotá Colombia 2007

2.1.4. Efecto del Filler en Mezclas Asfálticas

El polvo mineral junto con el ligante forman una masa asfáltica o mastico cuya calidad tiene una importancia fundamental en el comportamiento reológico, impermeabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica. Los factores a considerar para conseguir un buen mastico son la relación filler/betún y la finura de filler y afinidad con el agua.

Cuanta más alta sea la relación filler/betún más elevada es la viscosidad de masa y más rígida es la mezcla. Esto disminuye la magnitud de las deformaciones permanentes, sobre todo a altas temperaturas ya que se aumenta la rigidez del asfalto.

Cuando el polvo mineral tiene afinidad con el agua puede producirse una degradación en el tiempo, de la estructura íntima de la mezcla, que se traducirá en una menor estabilidad de la misma con el riesgo de deformaciones inesperadas.

El riesgo de sensibilidad al agua del mortero puede deberse no solamente a la naturaleza del polvo mineral sino también a la composición química de algunos asfaltos.

El polvo mineral tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas por su elevada superficie específica, en función de su naturaleza, finura, actividad y producción en la que forma parte de la mezcla.

Los polvos minerales pueden ser el contenido del árido precedente de la trituración de los mismos; un producto comercial de naturaleza pulvurulenta como el cemento o la ceniza volante procedente de central térmica o un polvo, en general calizo, especialmente preparado para este fin.

2.1.5. Celulosa

La celulosa es el compuesto orgánico natural más abundante y, por tanto, materia prima potencial para la I.Q.O. La madera contiene del 40 al 60% de celulosa y la paja un 30%. Más del 90% de la producción de celulosa se obtiene de la madera y el 10% restante de otras plantas como la caña de azúcar. La celulosa es el componente fundamental de la pared de las células vegetales en plantas, madera y fibras naturales, y se encuentra combinada, generalmente, con sustancias como la lignina, hemicelulosas (carbohidratos más cortos principalmente pentosanos), pectinas y ácidos grasos. En el algodón y en el lino las fibras de celulosa son de gran pureza (90-95%) y tienen aplicación textil.

Dependiendo del proceso de producción, las celulosas se dividen en:

- **Celulosa Química.**

Se obtiene a partir de un proceso de cocción química de la madera a altas temperaturas y presiones, cuyo objetivo es disolver la lignina contenida en la madera con una disolución alcalina, liberando las fibras. Dependiendo de los aditivos químicos usados en la cocción, existen celulosas químicas kraft y al sulfito, siendo la primera más utilizada a nivel mundial. La celulosa química se caracteriza por tener un rendimiento total relativamente bajo, es decir, sólo entre un 40% y un 60% del material original (madera) queda en el producto final (fibras), el resto (lignina), se disuelve en la solución alcalina para ser posteriormente quemada y generar la energía térmica y eléctrica

necesaria en los procesos productivos. Estas celulosas son más resistentes, ya que las fibras quedan intactas, son más fáciles de blanquear y menos propensas a perder sus cualidades en el tiempo.

- **Celulosa Mecánica.**

Se obtiene a partir de un proceso por el cual la madera es molida y triturada mecánicamente, siendo sometida a altas temperaturas y presiones. Posteriormente la pasta es clasificada, lavada y eventualmente blanqueada. Este proceso requiere un alto consumo energético. La celulosa mecánica, se caracteriza por tener un alto rendimiento, normalmente entre un 85% y 95%, pero la lignina remanente en el producto puede oxidarse generando el color amarillo que caracteriza a los diarios viejos. Las principales aplicaciones son la fabricación de papel para periódicos y papeles para impresión y escritura de menor calidad. Esta celulosa es menos resistente que la química, no por la presencia de esta lignina sino porque las fibras que en ella están contenidas han sido cortadas en el proceso de fabricación. Para que nos hagamos una idea de la producción a nivel mundial en 1998 (175 millones de toneladas) un 76% correspondieron a celulosas químicas y sólo un 24% a celulosas mecánicas.

2.1.5.1. Bagazo de la Caña de Azúcar

El bagazo es producido principalmente en los ingenios azucareros o en los trapiches. Anteriormente el termino bagazo se empleaba para definir el residuo de las aceitunas que eran molidas para la extracción del aceite de oliva.

Una vez que se extrajo la mayor cantidad de jugo al hacer pasar la caña por varios molinos y ser rociado con agua, nos queda solamente el bagazo. Este tiene un color que varía entre amarillo-gris sucio y verde pálido.

El bagazo está compuesto por dos partes celulares, una de ellas es la fracción de fibras largas de paredes gruesas y la otra son haces fibrovasculares dispersos en el tallo.

Cuatro fracciones componen al bagazo de caña: el agua que se encuentra en un 50%, los sólidos solubles que se encuentran en un 2 o 3 % el total del bagazo, los sólidos insolubles que también se encuentran en un 2 o 3% y por último la fibra de bagazo que está en un 45%.

2.1.5.2. Propiedades del Bagazo

- **Densidad y humedad**

Éstas son dos de las principales propiedades que se requieren para realizar cualquier cálculo de ingeniería en cuanto a la fabricación de concreto.

La densidad de un bulto de bagazo, en condición, suelta es una referencia que se toma en cuenta para el diseño y construcción de algunos equipos en las industrias donde se le dará un segundo uso al bagazo. La tabla muestra las densidades de un bulto de bagazo en las condiciones más frecuentes en la industria de los derivados.

Tabla 14 Comparación entre las densidades de bagazo en diferentes condiciones

| Humedad (%) | Compactación (m) | Densidad en bulto |
|-------------|--------------------|-------------------|
| 90 – 10 | Suelto | 60 |
| 50 | Suelto | 70 |
| 75 | Suelto | 85 |
| 75 | Compactado (h=20m) | 150 |
| 75 | Compactado (h=20m) | 250 |

Fuente: El bagazo de la caña de azúcar. Shaila Guadalupe Hernández García.

- **Contenido de fibras y médula**

Al agrupar las fibras de la corteza y las fibras cortadas en el interior del tallo en una sola fracción denominada fibra útil, queda una parte formada por la médula.

Tabla 15 Componentes de la fibra

| Componente | % |
|---------------------|---|
| Fibras largas de la | 5 |

| | |
|-----------------------|---|
| Parénquima | 3 |
| Haces fibrovasculares | 1 |
| Células epidérmicas | 5 |

Fuente: El bagazo de la caña de azúcar. Shaila Guadalupe Hernández García.

Cuando el bagazo está en condición seca posee alrededor de 60 % de fibra, 30% de medula y el 10% restante de la fracción mencionada antes.

Tabla 16 Componentes de la fibra en estado seco

| Fracción | Rango (%) |
|---------------------------|-------------|
| Fibra | 55.0 – |
| Médul | 30.0 – 35.0 |
| Finos, tierras y solubles | 10.0 – |

Fuente: El bagazo de la caña de azúcar. Shaila Guadalupe Hernández García.

- **Composición química**

El bagazo está compuesto de celulosa, hemicelulosa y lignina, como principales polímeros naturales.

El resto son componentes en pequeñas cantidades que, en conjunto, se consideran componentes extraños.

Tabla 17 Componentes químicos del bagazo.

| | Bagazo integral % | Fracción fibra % | Fracción medula |
|------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Celulosa | 46.6 | 47.7 | 41.2 |
| Pentosanos | 25.2 | 25 | 26 |
| Lignina (klason) | 20.7 | 19.5 | 21.7 |

Fuente: El bagazo de la caña de azúcar. Shaila Guadalupe Hernández García.

Tabla 18 Componentes químicos del bagazo.

| Componentes | Bagazo seco % | Bagazo entero % | Fibra de bagazo | Medula de bagazo % |
|--------------------|----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| Celulosa | 40 | 46 | 56.6 | 55.4 |
| Gomas | 24.4 | 29.3 | 26.11 | 29.3 |
| Proteínas | 1.8 | - | - | - |
| Azúcares | - | - | - | - |
| Sacarosa | 14 | - | - | - |
| Glucosa | 1.4 | - | - | - |
| Ácidos | 0.4 | - | - | - |
| Grasas y ceras | 0.6 | 3.45 | 2.25 | 3.55 |
| Cenizas | 2.4 | 20.4 | 1.3 | 3.02 |
| Lignina | 15 | 19.95 | 19.15 | 22.3 |
| Sílice | - | 2 | 0.46 | 2.42 |

Fuente: El bagazo de la caña de azúcar. Shaila Guadalupe Hernández García.

- **Derivado del bagazo**

Pulpa química-mecánica del bagazo

Esta presenta una combinación de propiedades de resistencia y opacidad que le permite su incorporación en forma mayoritaria a la pasta de papel

Periódico; también, reduce el peso básico en papeles de imprenta y para escribir baratos, y les brinda rigidez necesaria para su empleo en la formulación de cartón ondulado de alta calidad.

Sus usos son principalmente en la industria de elaboración de papel y cartón.

Pulpa para disolver

También denominada pasta alfa especial o pasta soluble, ocupa los primeros lugares en volúmenes de producción entre el tipo de pastas no papeleras del mundo.

Se caracteriza por su elevada pureza química expresada en el alto contenido de alfa celulosa y bajos contenidos de iones metálicos y de productos solubles en soluciones alcalinas. Las propiedades de la pulpa se muestran en la tabla.

Tabla 19 Componentes y propiedades de la pulpa para disolver.

| Propiedades de la pulpa para | |
|-------------------------------------|---------|
| Celulosa (%) | 90 – 91 |
| Pentosanos (%) | 3 |
| Cenizas (%) | 0.08 |
| Silicio | 0.0075 |
| Hierro | 0.0010 |
| Viscosidad (cp) | 1 |
| Reactividad CS ₂ /NAOH | 80 / 12 |

Fuente: El bagazo de la caña de azúcar. Shaila Guadalupe Hernández García.

La fibra para disolver se emplea en la fabricación de fibraza e hilaza destinada a la producción de tejidos y artículos sanitarios absorbentes. Este producto puede ser también empleado en la obtención de celulosa macrocristalina para tabletas medicinales, carboximetilcelulosa grado farmacéutico y grado alimenticio y en la producción de otros éteres.

2.1.5.3. Ceniza de Bagazo de la Caña de Azúcar como Filler

Considerando los aspectos: de la disponibilidad continua del material y que tenga las características físicas (tamaño máximo nominal) y químicas requeridas (contenido de celulosa); se usó como filler la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, Residuo generado del Ingenio azucarero I.A.B.S.A (Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima), ubicado en el departamento de Tarija en la provincia Arce municipio Bermejo. Este residuo resulta directamente de la combustión de del bagazo de caña de azúcar, la misma que puede ser aprovechada como una alternativa de adición mineral para las mezclas asfálticas.

2.1.5.3.1 Propiedades Físicas

La ceniza de bagazo es obtenido durante la molienda de la caña de azúcar para la extracción del jugo, luego es sometido a un proceso de combustión (400-500 °C) en hornos industriales para la producción de calor en el proceso de elaboración del azúcar, resultado de este proceso es una ceniza rica en sílice.

La ceniza reactiva es de color gris oscura, dependiendo del carbón residual en ella.

La muestra de ceniza de caña de azúcar fue extraída de la fábrica de azúcar I.A.B.S.A., la que se encuentra ubicada en la ciudad de Bermejo, ciudad que pertenece a la segunda sección de la provincia Arce ubicada en el extremo sur del departamento a 208 km de la ciudad de Tarija en la frontera con la Republica argentina, está a 419 msnm, de clima caluroso semiárido.

La ciudad es muy conocida por el ingenio azucarero, ya que este provee una buena parte del consumo interno de azúcar a Bolivia.

Todo proceso azucarero deja como residuo final una ceniza que resulta directamente de la combustión del bagazo de caña de azúcar; esta ceniza puede ser aprovechada como una alternativa de adición solida mineral en sustitución del filler en mezclas asfálticas.

Las propiedades se determinaron en ensayos de laboratorio de SEDECA, las mismas que se detallan en el **CAPITULO 3**.

- **Tamaño máximo nominal.**-El TMN de la ceniza corresponde al material que pasa el 100% y es: N°30 (0.600mm).
- **Peso específico.**- Determinado mediante el ensayo (AASHTO T84-00, ASTM D-128), el cual es 2.48 g/cm³.

Sus características físicas se realizaron en el laboratorio ESMOA: Estudio de suelos y monitoreo de aguas ubicado en el departamento de TARIJA, resultados que se muestra en el **ANEXO 5**.

- **Humedad.-** Es el contenido de agua natural que tiene un suelo, la ceniza posee 0.99 %, lo cual es un factor favorable para el diseño de mezclas asfálticas.
- **Residuos insolubles.-**Factor que indica las pérdidas por solubilidad, indica que la ceniza se mantiene estable en el tiempo con respecto a los efectos del agua, al mezclarse con los otros componentes de la mezcla asfáltica se mantendrá estable la mezcla asfáltica. Sus residuos insolubles son 94.56 % lo cual indica la estabilidad de la ceniza al combinarse con otros agregados.
- **Materia soluble.-**Cuando este valor es elevado la ceniza no se mantendrá estable con respecto a los efectos del agua, cuando está combinada con otros materiales para formar la mezcla asfáltica. Su materia soluble es del 5.44 % valor que es favorable para utilizar como filler.

2.1.5.3.2. Características Químicas

Sus propiedades químicas se realizaron en el laboratorio ESMOA: Estudio de suelos y monitoreo de aguas ubicado en el departamento de TARIJA, resultados que se muestra en el **ANEXO 4**.

En lo que corresponde a caracterización química de composición se utilizarán los resultados de los ensayos químicos realizados por la tesista JIMENA CAROLINA JURADO AGUILERA con el tema “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS”; defendido el 21 de diciembre del 2010. A continuación se describen las propiedades químicas de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar.

- **Contenido de materia orgánica:** El contenido de materia orgánica afecta en la resistencia de la mezcla asfáltica; la muestra no contiene materia orgánica; el ensayo fue realizado por la según la norma NB 0.75-74.

Tabla 20 Porcentaje de materia orgánica

| MUESTRA | PARÁMETRO | TEMP. DE ENSAYO °C | MATERIA ORGÁNICA % |
|---------|-----------|--------------------|--------------------|
| 1 | Ceniza | 650 | 0.99 |

Fuente: Laboratorio ESMOA Tarija.

- **Composición mineralógica.-** En lo que corresponde a estas características se utilizaran los resultados de los ensayos químicos realizados por la tesista JIMENA CAROLINA JURADO AGUILERA con el tema “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS”; defendido el 21 de diciembre del 2010. Ya que se usó la misma ceniza del mismo lugar.

Se determinó mediante análisis petrográficos que consistieron en la difracción de rayos X, consiste en analizar minerales pulverizados y los elementos químicos que contiene.. Se realizó en el laboratorio de “SPECTROLAB” de la universidad técnica de Oruro.

Tabla 21 Porcentaje de materia orgánica

| MUESTRA | PARÁMETRO | FASES MINERALES PRESENTES | COMP. QUÍMICA | % | DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA |
|---------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------|---|
| 1 | CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | CUARZO AZUFRE | SiO ₂ S | 53 8 | MUESTRA DE COLOR GRIS Y CAFÉ EN FORMA FIBROSA, LOS MATERIALES CRUDOS (CAFÉS) TODAVÍA SE OBSERVAN, TIENEN MAS LARGAS LAS FIBRAS, MINERALES BLANCOS REDONDEADOS |

Fuente: Tesis “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS

RÍGIDOS" U.A.J.M.S AUTOR: JIMENA CAROLINA JURADO AGUILERA AÑO 2010.

- **PH.-** El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. La ceniza tiene un PH= 8.76, lo que indica que esta en medio básico lo que indica que es aglomerante, por lo que sus partícula se mantiene estable.

Tabla 22 resultados de los análisis químicos y físicos

| N° | TIPO DE ANÁLISIS | UNIDAD | RESULTADOS |
|-------------------------|-------------------------|--------|------------|
| ANÁLISIS FÍSICO | | | |
| 1 | Humedad | % | 0.99 |
| 2 | Residuos insolubles | % | 94.56 |
| 3 | Materia soluble | % | 5.44 |
| 4 | TDS (Solidos disueltos) | ppm | 60 |
| ANÁLISIS QUÍMICO | | | |
| 1 | Materia orgánica | % | 0.06 |
| 2 | PH | | 8.76 |

Fuente: Fuente: Laboratorio ESMOA Tarija.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Componentes de la Mezcla Asfáltica

2.2.1.1. Agregado Grueso

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

2.2.1.2. Agregado Fino

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

2.2.1.3. Filler

El filler mineral se compondrá de partículas muy finas de caliza, sustancia mineral aprobada no plástica. La parte de filler mineral es el material que pase por el tamiz número 200 se considera como polvo mineral.

2.2.1.4. Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar como Filler

Residuo obtenido del ingenio azucarero I.A.B.S.A Bermejo, material de color gris oscuro y fino.

2.2.1.5. Cemento Asfáltico

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

2.2.2. Comportamiento de las Asfálticas

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

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

2.2.2.1. Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico.

La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

2.2.2.2. Vacíos de Aire (o simplemente vacíos)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional.. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 por ciento.

2.2.2.3. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla.

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

2.2.2.4. Contenido de Asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen

menos área superficial total.

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

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

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

2.2.3. Propiedades Consideradas en el Diseño de la Mezcla

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

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

2.2.3.1. Estabilidad

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

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

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto.

Tabla 23 Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

| CAUSAS | EFECTOS |
|--|---|
| Exceso de asfalto en la mezcla | Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o |
| Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla | Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación. |
| Agregado redondeado sin, o con pocas, | Ahuellamiento y canalización. |

Fuente: Asphalt Institute

2.2.3.2. Fluencia

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

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

2.2.3.3. Cohesión

Es la propiedad que permite mantener unidas todas las partículas del material pétreo proporcionando a la mezcla asfáltica una determinada cohesión, es decir, su poder aglomerante. Y resistir las sollicitaciones del tránsito sin que se produzcan grandes desplazamientos relativos entre ellas. En resumen la cohesión es la resistencia a la disgregación de las mezclas asfálticas que tienen ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito de los vehículos.

2.3. Marco Normativo

Para el diseño y construcción de nuestras vías Nacionales, se sigue la Normativa establecida por los Manuales de la Administración Boliviana de Carreteras (ABC), los mismos que se basan en la normativas AASHTO Y ASTM. En esta investigación se tomaron como referencia las especificaciones y estándares nacionales, internacionales para la caracterización de los materiales, dosificación y diseño de mezclas asfálticas en caliente mediante el método Marshall.

Caracterización de los materiales asfálticos:

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

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

2.3.1 Requisitos de los Agregados

a) Agregado Grueso: Reciben el nombre de agregados gruesos los materiales retenidos en el tamiz #4, estos materiales serán piedras o escorias machacadas, gravas machacadas o combinaciones de ellas, o en materiales que se presenten naturalmente en estado fracturado o en áridos naturales muy angulosos.

Los agregados no estarán recubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales ni contendrán trozos de arcilla ni material fino.

b) Agregado Fino: Son los que pasan por el tamiz # 4. Constarán de arena natural y/o material obtenido del machaqueo de piedra, escoria o grava. Las partículas serán, limpias resistentes, duraderas, moderadamente angulosas y sin revestimiento de arcilla. Se ensayará su resistencia a los sulfatos según el método (AASHTO T-104, ASTM C88) a menos que ya se sepa que su comportamiento es satisfactorio.

c) Filler Mineral: El filler mineral se compondrá de partículas muy finas de caliza, cal apagada, cemento portland u otra sustancia mineral aprobada no plástica. Estará perfectamente seco y no contendrá grumos, ensayado por el método (AASHTO T37, ASTM D546) su granulometría cumplirá las siguientes condiciones:

Tabla 24 Granulometría filler mineral

| Número del tamiz | Porcentaje en peso seco que pasa |
|------------------|----------------------------------|
| 30 | 100 |
| 100 | 90 |
| 200 | 65 |

Fuente: Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones-Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano-Bogotá Colombia 2007

Tabla 25 Requisitos de graduación para diferentes tipos de mezclas materiales

| REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE MEZCLAS MATERIALES MENORES A % DE PULGADAS | | | | |
|--|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| TAMIZ | PORCENTAJE EN PESO QUE PASA | | | |
| | GRANULOM | GRANULOME | GRANULOME | GRANULOME |
| | | | | |

| | E-TRÍA ABIERTA | - TRÍA GRUESA | - TRÍA DENSA | - TRÍA FRÍA |
|------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| 1/2" | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/8" | 70-100 | 75-100 | 80-100 | 85-100 |
| N4 | 20-40 | 35-55 | 55-75 | 65-80 |
| N8 | 5-20 | 20-35 | 35-50 | 50-65 |
| N16 | - | - | - | 37-52 |
| N30 | - | 10-22 | 18-29 | 25-40 |
| N50 | - | 6-16 | 13-23 | 18-30 |
| N100 | - | 4-12 | 8-16 | 10-20 |
| N200 | 0-4 | 2-8 | 4-10 | 3-10 |

Fuente: Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones-Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano-Bogotá Colombia 2007

2.3.1.1. Pruebas de Laboratorio

Se deben realizar estos ensayos de control de calidad de los materiales los mismos que se detallan en el **CAPITULO 3**.

- Granulometría agregado grueso (AASHTO T27-99, ASTM E-40).
- Granulometría agregado fino (AASHTO T11-96, ASTM E-117).
- Granulometría del filler (AASHTO T27-99, ASTM E-40).
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D 5821-95).
- Equivalente de la arena y agregados finos (AASHTO T176-00, ASTM D 2419)

- Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (AASHTO T96-99, ASTM C-131).
- Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO T84, ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (AASHTO T85-91, ASTM D-127).
- Peso unitario agregado grueso (ASSHTO T19, ASTM C-29).
- Peso unitario agregado fino (ASSHTO T19, ASTM C-29).
- Partículas planas y alargadas (ASTM D-4791).
- Durabilidad (AASHTO T104-99, ASTM C-88).
- Límites de Attemberg (ASTM D 4318-84).

2.3.2. Requisitos del Asfalto

El asfalto es un material de particular interés para el Ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, impermeable y duradero, es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con los que se combina usualmente, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales aunque es una sustancia solida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos.

En la norma INV E-706 se encuentran las especificaciones de este tipo de asfaltos, cuyas características se indican en la siguiente tabla:

Tabla 26 Especificaciones de asfaltos puros

| Característica | Unidades | Norma de ensayo | 60-70 | | 80-100 | |
|---|----------|-----------------|-------|------|--------|------|
| | | | Min. | Max. | Min. | Max. |
| Penetración | 0.1 mm | INV E-706 | 60 | 70 | 80 | 100 |
| Viscosidad dinámica a 60 °C | P | INV E-716 | 1.500 | | 1.000 | |
| Índice de penetración | | INV E-724 | -1 | +1 | -1 | +1 |
| Perdida por calentamiento en película delgada (163 °C, 5 h) | % | INV E-721 | - | 1.0 | - | 1.0 |
| Ductilidad (25 °C, 5 cm/min) | cm. | INV E-702 | 100 | - | 100 | - |
| Penetración del residuo luego de la pérdida delgada % de penetración original | % | INV E-721 | 52 | - | 48 | - |
| Solubilidad en tricloroetileno | % | INV E-713 | 99 | - | 99 | - |
| Contenido de agua | % | INV E-704 | - | 0.2 | - | 0.2 |

Fuente: Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones-Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano-Bogotá Colombia 2007

2.3.2.1. Pruebas de Laboratorio

Se deben realizar estos ensayos de laboratorio de control de calidad de los materiales de acuerdo a especificaciones, los mismos que se detallan en el CAPITULO 3.

- Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (AASHTO T-72, ASTM E-102).
- Ensayo de penetración (AASHTO T 49-93, ASTM D5-86).
- Ensayo de punto de ablandamiento (AASHTO T53, ASTM D-36).
- Ensayo de punto de inflamación (AASHTO T48, ASTM D-92).
- Ensayo de peso específico (AASHTO T-227, ASTM D-70).

2.3.3. Método de Diseño Marshall

La experiencia que se tiene con el método Marshall es muy amplia y positiva cuando se trata de dosificar hormigones asfálticos (mezclas gruesas, es decir con tamaños máximos superiores a 5 mm, de granulometría continua y no abiertas) en caliente. Ya se han señalado que las mezclas abiertas son mecánicamente poco sensibles a las variaciones en el contenido del betún, por lo que son preferidos los métodos de superficie específica. Como se ha indicado para la dosificación de hormigones asfálticos en caliente se utiliza en varios países del mundo el método Marshall, basado en el ensayo mecánico del mismo nombre. El método Marshall sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos.

Se deben utilizar probetas de 64×102 mm de diámetro.

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

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

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

Caracterización de agregados:

- Análisis granulométrico (AASHTO T27-99, ASTM D-422).
- Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D5821-95).
- Equivalente de la arena y finos (AASHTO T176-00, ASTM D 2419).
- Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (AASHTO T96-99, ASTM C-131).
- Peso específico de agregado fino (AASHTO T84-00, ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (AASHTO T85-91, ASTM D-127).

Una vez fijada la granulometría de los áridos y el tipo de ligante, se fabrica probetas con diferentes contenidos de ligante dentro de unos intervalos sancionados por la experiencia (al menos cuatro probetas por cada contenido). A continuación se procede a su compactación en el molde correspondiente mediante la denominada masa Marshall, de características normalizadas, aplicando una serie de impactos en cada base de la probeta y cuyo número (generalmente 50 ó 75) es función de las características del tráfico. Desmoldadas las probetas, se determina su densidad aparente con una balanza hidrostática. Este dato, junto con los pesos específicos del conjunto de áridos y del ligante, permite el cálculo de los porcentajes de huecos en áridos y huecos en mezcla. Después de mantener las probetas en una estufa el tiempo necesario para que la mezcla alcance una temperatura de 60 °C, se ensayan hasta una rotura según las condiciones ya descritas, obteniéndose para cada porcentaje de ligante la relación entre la carga aplicada y la deformación de la mezcla. Se define como estabilidad Marshall la carga de rotura y como deformación Marshall el acortamiento diametral hasta el momento de la rotura. Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son: densidad, estabilidad, deformación, porcentaje de huecos

rellenos de betún. La variación de los mismos con respecto al contenido de ligante de la mezcla (expresado normalmente en porcentaje en peso sobre el peso seco de áridos). Los resultados obtenidos en el ensayo Marshall con el contenido de ligante considerado como óptimo, en especial la densidad, se utiliza también como patrón de control en obra. De esta forma suelen exigirse densidades in situ del 95% de la densidad Marshall correspondiente a ese óptimo para tráficos ligeros y del 97 % ó 98% para tráficos pesados. Se comprueba además que el resto de los parámetros Marshall se mantienen próximos a los obtenidos en el laboratorio.

Tabla 27 Dosificación mezclas en caliente empleando el método Marshall.

| CARACTERÍSTICAS | CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO | |
|---------------------------|------------------------------|----------|
| | T0, T1 Y T2 | T3 Y T4 |
| Número de golpes por cara | 75 | |
| Estabilidad (KN) | >10 | 7.5-12.5 |
| Deformación (mm) | 2-3.5 | |
| Huecos en mezcla (%) | | |
| Capa de rodadura | 4.0-6.0 | 3.0-5.0 |
| Capa intermedia | 4.0-8.0 | 3.0-8.0 |
| Capa de base | 4.0-9.0 | 3.0-9.0 |
| Huecos en áridos (%) | | |
| Mezcla D6 | ≥16 | |
| Mezcla D12 y S12 | ≥15 | |

| | |
|-----------------------|-----------|
| Mezcla D20, S20 y G20 | ≥ 14 |
| Mezcla S25 y G25 | ≥ 13 |

Fuente: Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones-Hugo Alexander Rondón Quintana/ Freddy Alberto Reyes Lizcano-Bogotá Colombia 2007

2.3.4. Marco Histórico

No existen registros de que se realizó el mismo trabajo de investigación anteriormente, pero si hay algunas investigaciones que tienen alguna afinidad en el área con el presente estudio, los cuales se muestran a continuación:

Tesis “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS” U.A.J.M.S AUTOR: JIMENA CAROLINA JURADO AGUILERA AÑO 2010.

Se agregó ceniza de bagazo de caña de azúcar al pavimento rígido, aplicando el Método ACI-211 para su dosificación.

Se comprobó que reemplazando un máximo de 6% de ceniza de caña de azúcar (de 1.18 mm de tamaño máximo) por cemento portland, se obtienen resistencias por encima de la mínima requerida para pavimentos rígidos (250 kg/cm² a compresión y 35 kg/cm² a flexo-tracción) siendo esta última la más favorable, por lo que se recomienda su uso en concretos para pavimento rígido.

Tesis “APLICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND COMO LLENANTE MINERAL EN MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO PARA RODADURA” U.A.J.M.S AUTOR: CIMAR MELEAN MONTALVO AÑO 2010.

Se adiciono como filler Cemento Portland (EL PUENTE) IP-30 a mezclas asfálticas, se obtiene óptimo resultados con la adición del 3.7 % de cemento portland como filler.

Las mejoras se presentan en la Estabilidad, % VAM y % de vacíos de la mezcla, pero se incrementan los costos en producción.

2.4. Posición del Investigador

La investigación en cuestión se centra en el análisis de la variación y caracterización del comportamiento mecánico (Estabilidad, fluencia, % de vacíos, % RBV, % de VAM, densidad, cohesión) de una mezcla asfáltica en caliente a la cual se le adiciona ceniza de bagazo de la caña de azúcar como filler. Se llevó a cabo una previa documentación bibliográfica sobre el tema (teoría, historia, antecedentes), estudiando los parámetros de diseño que intervienen en las mezclas; posteriormente se determinaron las propiedades de los materiales que conforman la mezcla mediante una aplicación práctica de ensayos en laboratorio de acuerdo a lo establecido en normas, para así construir y ensayar las briquetas mediante el método Marshall.

Para poder realizar el análisis correspondiente al trabajo de investigación, se sigue una metodología de investigación mixta cualitativa y cuantitativa que representa un conjunto de procesos sistemáticos que implican la recolección y el análisis de datos, para realizar inferencias producto de toda la información recolectada y poder así lograr una mayor comprensión del tema bajo el cual se está realizando el estudio.

Dado caso que las propiedades resulten optimizadas por la adición de nuevo filler esta investigación podría dar pie para que se le hagan otro tipo de evaluaciones a este tipo de mezcla ya sea de tipo económico o de otra índole, dando la posibilidad de que se generalice su producción y uso dentro de la infraestructura vial.

CAPÍTULO III

“INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN”

3.1. Descripción de Criterios

3.1.1. Criterios de la Selección del Banco de Materiales

Los materiales pétreos utilizados deben cumplir especificaciones técnicas de la norma ASTM, ASSHTO. En el departamento de Tarija existen varios bancos de materiales; para el presente estudio se utilizara los agregados pétreos provenientes de la planta “Chancadora de áridos GARZÓN”; ya que éstos cumplen con las especificaciones técnicas requeridas para la investigación y tiene una disponibilidad continua de los mismos.

3.1.2. Criterio del uso de la Ceniza de Celulosa como Filler

3.1.2.1 Material Agroindustrial (ceniza de bagazo como filler)

Considerando los aspectos: de la disponibilidad continua del material y que tenga las características físicas (tamaño máximo nominal) y químicas requeridas (contenido de celulosa); se usó como filler la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, Residuo generado del Ingenio azucarero I.A.B.S.A (Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima), ubicado en el departamento de Tarija en la provincia Arce municipio Bermejo.

3.1.3. Criterio de la Variación del Porcentaje de Filler

Se respetará los porcentajes de filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar por la norma AASHTO según la faja de diseño considerada, que están comprendidos del 3 % al 7%; para la investigación se usó el porcentaje de 3%,5% y 7%, se varía de 2% en 2% debido al tiempo disponible para hacer los ensayos, con este criterio podremos conocer el punto en el cuál el porcentaje de filler dejan de ser ventajosas para la mezcla asfáltica y así determinaremos el contenido óptimo de filler en el cual se obtendrán mejores propiedades de la misma.

3.1.4. Criterio del uso de Cemento Asfáltico

Se usó el cemento asfáltico CONVENCIONAL 85-100 con nombre Betupen Plus de procedencia de Brasil (Sao Paulo), a continuación se muestra sus especificaciones en la siguiente tabla.

Tabla 28 Especificaciones técnicas del cemento asfáltico Betupen Plus 85-100

| N° | ENSAYOS | MÉTODO | | EXIGENCIAS |
|----|---|---------|--------|--------------|
| | | AASHTO | ASTM | |
| 1 | PENETRACIÓN MUESTRA ORIGINAL 25°C | T-49-97 | D-5 | 85-100 |
| 2 | VISCOSIDAD SAYBOL FUROL A 135°C, SEG | T-72 | D-102 | > 85 seg. |
| 3 | PUNTO DE INFLACIÓN CLEVELAND °C VASO ABIERTO | T-79-96 | D-92 | >a 232°C |
| 4 | CONTENIDO DE AGUA | T-55 | - | <a 0,2 |
| 5 | SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO % | T-44-97 | D-2042 | >a 99,00% |
| 6 | ENSAYO DE LA MANCHA (cuando y como se especifique), | T-102 | - | (-) Negativo |

| | | | | |
|----|--|----------|--------|----------|
| | con:Solvente Gasolina Standard, Gasolina-Xiol, Heptano-Xiol. | | | |
| 7 | ENSAYO EN HORNO PELÍCULA DELGADA | T-179-05 | D-1754 | <a 1 |
| 8 | DUCTILIDAD 25°C | T-51 | D-113 | >a 100cm |
| 9 | PENETRACIÓN DEL RESIDUO DE PERDIDA, X CALENTAMIENTO % ORIGINAL | T-49 | D-5 | >a 50 |
| 10 | ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA | - | - | -1 a 1 |

Fuente: Especificaciones técnicas del fabricante, imagen que se muestra en ANEXO 4.

3.1.5. Criterios para el Número de Ensayos a Realizarse

Se tomó el criterio del número de ensayos de acuerdo a la importancia que tienen en la investigación y considerando los resultados obtenidos mediante el muestreo estratificado tomando un nivel de significancia del 95 %; para los agregados pétreos, el cemento asfáltico y filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar.

Se utilizarán los resultados promedios del total de números de ensayos realizados en cada ensayo.

A continuación se muestra en las siguientes tablas el número de ensayos definidos para el presente trabajo de investigación.

A. Caracterización de los agregados: Se caracteriza los agregados tanto finos como gruesos para verificar que cumplan con normativas para su diseño.

Tabla 29 Número de ensayos para el agregado.

| ENSAYO | CANTIDAD |
|-------------------------------------|----------|
| Granulometría. | 9 |
| Porcentaje de caras fracturadas. | 2 |
| Porcentaje de partículas laminadas. | 2 |

| | |
|--|-----------|
| Porcentaje de partículas chatas y alargadas. | 2 |
| Equivalente de la arena. | 2 |
| Abrasión del agregado grueso. | 2 |
| Peso específico del agregado fino. | 2 |
| Peso específico del agregado grueso. | 2 |
| Pesos unitarios | 9 |
| Durabilidad | 1 |
| Límites de atterberg. | 1 |
| Total | 34 |

Fuente: Elaboración propia

- B. Caracterización del cemento asfáltico:** Se verificará que cumpla con sus especificaciones técnicas que viene dadas para el mismo por parte de su empresa de fabricación, de acuerdo a normas.

Tabla 30 Número de ensayos para el C.A.

| ENSAYO | CANTIDAD |
|---|-----------|
| Penetración muestra original 25°C. | 6 |
| Vaso abierto Cleveland punto de inflación °C. | 2 |
| Viscosidad Saybol Furol a 135°C, seg. | 2 |
| Película de ablandamiento | 2 |
| Peso específico (gr/cm ³). | 2 |
| Total | 14 |

Fuente: Elaboración propia.

- C. Caracterización del Filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar:** En este caso se debe verificar que cumpla con los requisitos de los ensayos de control de calidad, para su posterior uso en la elaboración de las mezclas asfálticas.

Tabla 31 Número de ensayos para CA con ceniza

| ENSAYO | CANTIDAD |
|-----------------------|----------|
| Granulometría | 3 |
| Pesos específico | 2 |
| Límites de atterberg. | 1 |
| Total | 6 |

Fuente: Elaboración propia.

D. Caracterización de la arena con filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar con los porcentajes de 3%,5%,7%: Se realizarán los ensayos de control de calidad, verificando su cumplimiento de acuerdo a normativa para el posterior diseño de la mezcla. También nos sirven estos resultados para comparar su comportamiento con respecto a la arena con filler convencional.

Tabla 32 Número de ensayos para la arena con filler de ceniza a distintos porcentajes

| ENSAYO | CANTIDAD |
|----------------------|-----------|
| Granulometría | 9 |
| Pesos específico | 6 |
| Equivalente arena | 3 |
| Peso Unitario | 9 |
| Durabilidad | 3 |
| Límites de atterberg | 3 |
| Total | 33 |

Fuente: Elaboración propia.

E. Cantidad de ensayos de resistencia de la estabilidad y fluencia Marshall.

A cada briqueta se evaluará con el ensayo de estabilidad y fluencia Marshall para estudiar y analizar su comportamiento de sus propiedades.

Mezcla asfáltica para determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

Dosificación.- Con la granulometría de los agregados se tiene una dosificación tentativa, con la cual se procederá a pesar tres briquetas con cada porcentaje de cemento asfáltico, para así poder tener un valor confiable y representativo de la muestra analizada, este parámetro de la elaboración del número de briquetas por porcentaje de asfalto nos recomienda el instituto de asfaltos. Para tener parámetros confiables lo mínimo es tener tres resultados, porque con solo dos resultados como se cometen siempre errores puede que un resultado se disperse y se obtengan variaciones en los productos finales.

A continuación en la siguiente tabla se muestra el número de briquetas a elaborar de acuerdo a cada porcentaje de asfalto para poder determinar el porcentaje óptimo de asfalto y de materiales para su diseño, estos parámetros fueron establecidos de acuerdo a criterio.

Tabla 33 Variaciones del porcentaje de Cemento Asfáltico para obtener el porcentaje óptimo.

| Porcentaje de cemento asfáltico(% de CA) | Número de briquetas(Unidad) |
|---|------------------------------------|
| 4,50% | 3 |
| 5,00% | 3 |
| 5,50% | 3 |
| 6,00% | 3 |
| 6,50% | 3 |
| 7,00% | 3 |
| TOTAL BRIQUETAS ELABORADAS | 18 |

Fuente: Elaboración propia.

Se realizarán 18 briquetas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico 85-100 variando de 0,5% con respecto del porcentaje aproximado de cemento asfáltico calculado, de igual manera variará el porcentaje de agregados en la mezcla, de la cual se obtendrá el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizar en los cálculos. Posteriormente se construirán 6 briquetas con los porcentajes óptimos para verificar el cumplimiento de sus propiedades y su resistencia remanente.

Detalle de la investigación:

Mezclas asfálticas convencionales.- Se elaborarán 15 briquetas con mezclas asfálticas convencionales con los valores óptimos, cuyo cemento asfáltico será 85-100 estas briquetas representarán el patrón, con lo cual procederemos a comparar y evaluar estadísticamente como ondulan y varían las propiedades mediante el ensayo Marshall y perdida de desgaste por cántabro con respecto a la mezcla con ceniza de bagazo como filler.

Mezclas asfálticas con filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar.- Se elaborarán 3 diseños adicionando los porcentajes de filler de 3%, 5% y 7%; para cada porcentaje de filler se adicionara los siguientes porcentajes de asfaltos : 4,5 %, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7 %. En total se fabricaran 54 briquetas para determinar el porcentaje óptimo de filler y cemento asfáltico. Posteriormente se construirán 6 briquetas con los porcentajes óptimos para verificar el cumplimiento de sus propiedades y su resistencia remanente. Una vez determinado los porcentajes óptimos, se realizaran 15 briquetas con los valores óptimos de filler y cemento asfáltico para así poder realizar una comparación de la variación de las propiedades mediante el ensayo Marshall y perdida por desgaste de cántabro de la mezcla asfáltica con respecto a la convencional.

Tabla 34 Variaciones del porcentaje de Cemento Asfáltico y filler de ceniza de bagazo para obtener sus porcentajes óptimos

| Porcentaje de filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar | Porcentaje de cemento asfáltico (%CA) | | | | | | |
|--|---------------------------------------|----|------|----|------|----|--|
| 3% | 4,5% | 5% | 5,5% | 6% | 6,5% | 7% | |

| | | | | | | |
|---------------------------|-----------|----|------|----|------|----|
| 5% | 4,5% | 5% | 5,5% | 6% | 6,5% | 7% |
| 7% | 4,5% | 5% | 5,5% | 6% | 6,5% | 7% |
| TOTAL DE BRIQUETAS | 54 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

F. Comportamiento de la mezcla asfáltica.

Ensayo Marshall.- Los parámetros con los que trabaja el método Marshall son las siguientes propiedades de mezclas asfálticas: Densidad, % de vacíos de la mezcla asfáltica, % VAM, %RBV, Estabilidad, y Fluencia. Se elaboraran 9 briquetas con el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica convencional y 9 briquetas con los porcentajes óptimos de filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar y cemento asfáltico; para así poder realizar una comparación y evaluación entre las mismas para afirmar si es que hay mejoras con la nueva mezcla, estableciendo la validez de los resultados mediante un tratamiento estadístico.

Tabla 35 Número de briquetas con los porcentajes óptimos de las mezclas asfálticas

| | Porcentaje óptimo de cemento asfáltico (%CA) | Porcentaje óptimo de filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar |
|---------------------------|---|--|
| Nro. De briquetas | 9 | 9 |
| Total de briquetas | 18 | |

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de cántabro o pérdida por desgaste.- Para este ensayo se realizar de acuerdo a lo que indica el Manual de la ABC en el ensayo de cántabro de pérdida por desgaste (A0615) y en la norma Española como (NLT 159/86). Se determina la cohesión que es la resistencia a la disgregación de las mezclas asfálticas ante los efectos abrasivos originados por el tránsito.

Se someten las briquetas Marshall a la máquina de los Ángeles sin carga abrasiva, se realizan 300 revoluciones y luego se retiran las briquetas para determinar su porcentaje de desgaste el mismo que debe ser menor al 25 %.

En ensayo se detalla en el capítulo 4.

Se elaboraran 6 briquetas con el porcentaje óptimo la mezcla convencional y 6 con el porcentaje óptimo de la mezcla con ceniza de bagazo como filler, determinando las variaciones que se producen entre las mismas.

Tabla 36 Número de briquetas para el ensayo Marshall

| | Porcentaje óptimo de cemento asfáltico (%CA) | Porcentaje óptimo de filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar |
|--------------------|--|---|
| Nro. De briquetas | 6 | 6 |
| Total de briquetas | 12 | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37 Total de briquetas fabricadas para el trabajo de investigación

| BRIQUETAS ELABORADAS PARA HALLAR LOS % ÓPTIMOS | | |
|--|-----------------------------------|--------------------------|
| DESCRIPCIÓN | | CANTIDAD (UNIDAD) |
| Mezcla asfáltica convencional | | 18 |
| M.A con filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar | 3% | 18 |
| | 5% | 18 |
| | 7% | 18 |
| TOTAL DE BRIQUETAS | | 72 |
| BRIQUETAS ELABORADAS PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON % ÓPTIMOS | | |
| ENSAYO | Descripción | CANTIDAD (UNIDAD) |
| MARSHALL | M.A. convencional | 6 |
| | M.A. + filler de ceniza de bagazo | 6 |
| CÁNTABRO | M.A. convencional | 6 |

| | |
|------------------------------------|----|
| M.A. + filler de ceniza de bagazo | 6 |
| TOTAL 2 DE BRIQUETAS | 24 |
| TOTAL DE BRIQUETAS PARA EL ESTUDIO | 96 |

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Levantamiento de la Información

3.2.1. Ubicación de la Fuente de los Materiales a Utilizarse

3.2.1.1. Agregados Pétreos

Los materiales componentes de la investigación, son provenientes de la planta “Chancadora de áridos GARZÓN” de la ciudad de Tarija ubicada en la comunidad de SAN MATEO, con una temperatura promedio de 25 °C y una altura aproximada de 1813 m.s.n.m; material chancado de tamaños de Grava de ¾”, Gravilla de 3/8”, arena chancada más Filler. Se verificará si los agregados son de buena calidad mediante los ensayos a realizarse en laboratorio.

Figura 3 Ubicación imagen satelital



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Características físicas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 Recolección de la muestra de materiales



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2. Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico a utilizarse es el CONVENCIONAL 85-100, fue proporcionado por la Institución “SEDECA”, cuyo distribuidor es una empresa de Brasil la ficha técnica se adjunta en el siguiente cuadro:

Tabla 38 Especificación técnica del cemento asfaltico BETUPEN PLUS

| N° | ENSAYOS | MÉTODO | | EXIGENCIAS |
|----|--|---------|-------|------------|
| | | AASHTO | ASTM | |
| 1 | PENETRACIÓN MUESTRA ORIGINAL 25°C | T-49-97 | D-5 | 85-100 |
| 2 | VISCOSIDAD SAYBOL FUROL A 135°C, SEG | T-72 | D-102 | > 85 seg. |
| 3 | PUNTO DE INFLACIÓN CLEVELAND °C VASO ABIERTO | T-79-96 | D-92 | >a 232°C |
| 4 | CONTENIDO DE AGUA | T-55 | - | <a 0,2 |

| | | | | |
|----|---|----------|--------|--------------|
| 5 | SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO % | T-44-97 | D-2042 | >a 99,00% |
| 6 | ENSAYO DE LA MANCHA (cuando y como se especifique), con: Solvente Gasolina Standard, Gasolina-Xiol, Heptano-Xiol. | T-102 | - | (-) Negativo |
| 7 | ENSAYO EN HORNO PELÍCULA DELGADA | T-179-05 | D-1754 | <a 1 |
| 8 | DUCTILIDAD 25°C | T-51 | D-113 | >a 100cm |
| 9 | PENETRACIÓN DEL RESIDUO DE PERDIDA, X CALENTAMIENTO % ORIGINAL | T-49 | D-5 | >a 50 |
| 10 | ÍNDICE DE SUCEPTIBILIDAD TÉRMICA | - | - | -1 a 1 |

Fuente: Especificación técnica del fabricante.

3.2.1.3. Ceniza de Bagazo de la Caña de Azúcar como Filler

La muestra de ceniza de caña de azúcar fue extraída de la fábrica de azúcar I.A.B.S.A., la que se encuentra ubicada en la ciudad de Bermejo, ciudad que pertenece a la segunda sección de la provincia Arce ubicada en el extremo sur del departamento a 208 km de la ciudad de Tarija en la frontera con la República Argentina, está a 419 msnm, de clima caluroso semiárido.

Se produce aproximadamente entre 40 a 50 toneladas de ceniza diarias durante el periodo de zafra (135 días aproximados por año), este residuo es producto de la combustión del bagazo de caña de azúcar en las calderas a altas temperaturas el mismo que sirve de combustible para los hornos.

Figura 6 Imagen Satelital



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Recolección de la muestra en I.A.B.S.A



Fuente: Elaboración propia

Figura 8 Ceniza de bagazo de caña de azúcar



Fuente: Elaboración propia

3.3. Descripción de Instrumentos y Equipos Utilizados

A. Para la caracterización de los agregados

- **Horno Eléctrico.**-El horno eléctrico es utilizado para el secado de los agregados de aportación, y debe contar con una temperatura constante de 100 a 110 °C.
- **Balanza.**- La balanza es usada para obtener los distintos pesos que se requiera, con una sensibilidad de 0.1 gr.
- **Juego de Tamices.**- El juego de tamices debe seguir la norma ASTM E-11, lo cual contiene los tamices 3”, 2 ½”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, No. 4, No. 10, No. 40, No. 200, tapa y fondo.

B. Para la caracterización del cemento asfáltico.

- **Penetrómetro de Asfalto.**-Sirve para determinar la penetración del betún.
- **Viscosímetro del Asphalt Institute y el baño de viscosímetro Saybolt.**- Con los cuales se determina la viscosidad del betún en estudio.
- **Aparato para la determinación del punto de inflamación Cleveland de copa abierta.**- Con el cual se determina el punto de Ignición o punto de llama del betún en estudio.
- **Ductilímetro.**- Con el cual se determina la ductilidad del betún, a una temperatura estándar de 25 °C.
- **Peso Específico.**- Que sirve para determinar la densidad del cemento asfáltico.

C. Para la dosificación y diseño de briquetas.

- **Moldes de compactación Marshall.**- En estos moldes se vaciará la mezcla bituminosa reciclada, creando briquetas con distintos porcentajes de betún. Consta de una base, molde encofrado y collar de extensión. El molde tiene un diámetro interior de 4” (101,6 mm) y una altura aproximadamente 3” (76 mm).

La base y el collar están diseñados para intercambiarse ya sea a uno u otro lado del molde.

- **Compactador para moldes Marshall.**- Este compactador sirve para compactar las briquetas según especificaciones técnicas.
- **Balanza.**- De 2 kg de capacidad, con aproximación a 0,1 g. Balanza de 5 kg con aproximación a 1 g.
- **Pedestal.**-Para la compactación, que consta de un soporte de madera, sobre el cual descansa una placa de acero de 12" x 12" x 1" (305 x 305 x 25 mm).
- **Horno y placa calentadora eléctrica.**-Para calentar los materiales, moldes de compactación, compactador para moldes.
- **Extractor de muestra o prensa.**-Para extraer la muestra (briqueta) ya compactada.
- **Termómetro.**-Blindado de vidrio o dial con varilla para lecturas entre 50 °F (10 °C) y 450 °F (232 °C).
- **Accesorios.**-Como cucharas, espátula, mezclador mecánico, baño de agua hirviendo, etc.

D. Para los ensayos de resistencia técnica.

- **Marco de carga multiplex Marshall.**- Este marco sirve para disponer en él los distintos cabezales, según las pruebas que se requiera.
- **Cabezal de Rotura Marshall.**- Este cabezal junto con el marco multiplex, permite realizar los ensayos de estabilidad y fluencia para las briquetas en análisis.
- **Máquina de los ángeles.**- El ensayo Cántabro permite evaluar indirectamente, empleando la Máquina de Los Ángeles la cohesión, trabazón así como la resistencia a la disgregación de mezclas asfálticas ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito. La máquina de Los Ángeles Consiste en un cilindro hueco de acero, con una longitud interior de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2 "

y un diámetro interior, de 711 ± 5 mm (28 ± 0.2 "), fabricado con una placa de acero de espesor entre 11.5 y 13 mm. El cilindro lleva sus extremos cerrados y tiene en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal, con una tolerancia en pendiente del 1%, con el eje.

3.4. Ensayo de Caracterización en los Agregados

Todo diseño de mezclas asfálticas parte del diseño de los agregados. Los ensayos de caracterización de los agregados son de gran importancia porque se debe determinar si cumplen con las especificaciones técnicas establecidas por las normas de ensayo de acuerdo al Manual de la Administración de Carreteras Bolivianas, ASTM, AASHTO y NLT.

3.4.1. Agregado Grueso

3.4.1.1. Granulometría del Agregado Grueso (AASHTO T27-99 y ASTM E-40)

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar los gránulos de que está formado según su tamaño, esta separación se hace mediante una colección de tamices de malla cuadra.

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

Tabla 39 Resultados Granulometría Grava ¾"

| GRAVA ¾" | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |
| | 1" | ¾" | ½" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 40 | Nº 80 | Nº 200 |
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 92.99 | 6.65 | 0.61 | 0.24 | 0.10 | 0.10 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 93.50 | 7.29 | 0.80 | 0.31 | 0.19 | 0.10 | 0.08 | 0.06 | 0.03 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 93.11 | 5.93 | 0.94 | 0.67 | 0.45 | 0.38 | 0.21 | 0.10 | 0.07 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo | 100 | 93.50 | 7.29 | 0.94 | 0.67 | 0.45 | 0.38 | 0.21 | 0.10 | 0.07 |
| Valor mínimo | 100 | 92.99 | 5.93 | 0.61 | 0.24 | 0.10 | 0.10 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| Valor promedio | 100 | 93.20 | 6.62 | 0.79 | 0.40 | 0.25 | 0.19 | 0.11 | 0.07 | 0.05 |
| Desviación Estándar | 0 | 0.26 | 0.68 | 0.17 | 0.23 | 0.18 | 0.16 | 0.09 | 0.03 | 0.02 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40 Resultados Granulometría Grava 3/8"

| GRAVA 3/8" | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |
| | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | N° 4 | N° 8 | N° 16 | N° 40 | N° 80 | N° 200 |
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 100 | 98.28 | 91.78 | 6.63 | 1.97 | 1.39 | 0.82 | 0.55 | 0.29 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 100 | 97.20 | 90.50 | 7.20 | 0.50 | 0.39 | 0.10 | 0.08 | 0.05 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 100 | 96.61 | 93.94 | 7.00 | 0.83 | 0.62 | 0.40 | 0.27 | 0.13 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| Valor máximo | 100 | 100 | 98.28 | 93.94 | 7.20 | 1.97 | 1.39 | 0.82 | 0.55 | 0.29 |
| Valor mínimo | 100 | 100 | 96.61 | 90.50 | 6.63 | 0.50 | 0.39 | 0.10 | 0.08 | 0.05 |
| Valor promedio | 100 | 100 | 97.36 | 92.07 | 6.94 | 1.10 | 0.80 | 0.44 | 0.30 | 0.16 |
| Desviación Estándar | 0 | 0 | 0.85 | 1.74 | 0.29 | 0.77 | 0.52 | 0.36 | 0.24 | 0.12 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.2. Porcentaje de caras Fracturadas en los Agregados (ASTM D 5821-95)

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

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

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

Resultados del ensayo de caras fracturadas.

Tabla 41 Resultados ensayo caras fracturadas grava 3/4

| Grava 3/4 | | |
|-------------------------------------|----------|------------------|
| ENSAYO | Lecturas | Promedio |
| ENSAYO N° | 1 | |
| PESO TOTAL (grs.) (a) | 1000 | 1000 |
| PESO RETENIDO TAMIZ N° 8 (grs.) (b) | 795 | 795 |
| CARAS NO FRACTURADAS (grs.) (a-b) | 205 | 205 |
| % Caras Fracturadas = (b/a)*100 | 79.50 | 79.5 > 75 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42 Resultados ensayos caras fracturadas grava 3/8

| Grava 3/8 | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|------|
| ENSAYO | Lecturas | Promedio | |
| ENSAYO N° | 1 | 1000 | |
| PESO TOTAL (grs.) (a) | 1000 | | |
| PESO RETENIDO TAMIZ N° 8 (grs.) (b) | 765 | | |
| CARAS NO FRACTURADAS (grs.) (a-b) | 235 | | |
| % Caras Fracturadas = (b/a)*100 | 76.50 | 76.5 | > 75 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.3. Porcentaje de Partículas Planas y Alargadas (ASTM D 4791-10)

Las partículas planas y alargadas son definidas respectivamente, como aquellas partículas cuya dimensión última es menor que 0.6 veces de su dimensión promedio y aquellas que son mayores 1.8 veces la dimensión promedio.

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

Tabla 43 Resultados del ensayo caras laminadas grava 3/4

| MATERIAL | Peso Retenido (gr) | Peso Retenido Partículas Laminares (gr) | % Retenido Partículas Laminares |
|--|---------------------------|--|--|
| 3/4" | 1000 | 22.0 | 2.20 |
| Peso Total | 1000 | | |
| (% Total de Partículas Laminares (Máximo 15%)) | | | 2.20 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44 Resultados del ensayo caras laminadas grava 3/8

| MATERIAL | Peso Retenido (gr) | Peso Retenido Partículas Laminares (gr) | % Retenido Partículas Laminares |
|--|---------------------------|--|--|
| 3/8" | 1000 | 62.2 | 6.22 |
| Peso Total | 1000 | | |
| (% Total de Partículas Laminares (Máximo 15%)) | | | 6.22 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45 Resultados del ensayo partículas chatas 3/4

| MATERIAL | Peso Retenido (gr) | Peso Retenido Partículas Chatas (gr) | % Retenido Partículas Chatas |
|---|---------------------------|---|-------------------------------------|
| 3/4" | 1000 | 42.2 | 4.22 |
| Peso Total | 1000 | | |
| (% Total de Partículas Chatas Alargadas (Máximo 10%)) | | | 4.22 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 46 Resultados del ensayo partículas chatas 3/8

| MATERIAL | Peso Retenido (gr) | Peso Retenido Partículas Chatas (gr) | % Retenido Partículas Chatas |
|---|---------------------------|---|-------------------------------------|
| 3/8" | 1000 | 22.0 | 2.20 |
| Peso Total | 1000 | | |
| (% Total de Partículas Chatas Alargadas (Máximo 10%)) | | | 2.20 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.4. Ensayo de Abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles (AASHTO T96-99 y ASTM C-131)

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

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”), por medio de la máquina de los ángeles. Para la grava ¾ se utilizan once esferas y mientras que para la grava 3/8 se utilizan ocho esferas para evaluar el desgaste.

El procedimiento y la descripción del ensayo se verá en el ANEXO 1

Tabla 47 Resultados del ensayo de desgaste de los Ángeles (3/4)

| PASADO | RETENIDO | CANTIDAD TOMADA (gr.) |
|---|----------|-----------------------|
| 3/4 | 1/2 | 2500 |
| 1/2 | 3/8 | 2500 |
| RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1,7 mm) | | 3646 |
| DIFERENCIA | | 1354 |
| % DESGASTE | | 27,08 < 35 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 48 Resultados del ensayo de desgaste de los Ángeles (3/8)

| PASADO | RETENIDO | CANTIDAD TOMADA (gr.) |
|---|----------|-----------------------|
| 3/8 | 1/4 | 2500 |
| 1/4 | 4 | 2500 |
| RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1,7 mm) | | 3912 |
| DIFERENCIA | | 1088 |
| % DESGASTE | | 21,76 < 35 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.5. Peso Específico (AASHTO T85-91 y ASTM D-127)

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

La gravedad específica del agregado es necesaria para determinar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas.

Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C (73.4°F).

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1

Tabla 49 Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso.

| Descripción | Unidad | GRAVA 3/4 | GRAVA 3/8 | PROMEDIO |
|---|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso Muestra Saturada de Superf. Seca (e) | grs. | 3573 | 3877 | |
| Peso Material Seco (f) | grs. | 3520 | 3815 | |
| Peso Muestra + Cesto suspendido en Agua | grs. | 2222 | 2395 | |
| Peso del Cesto suspendido en Agua | grs. | 0 | 0 | |
| Peso Muestra suspendida Agua (g) | grs. | 2222 | 2395 | |
| Peso Específico del Agregado Seco (f / (e-g)) | grs./cm ³ | 2.605 | 3 | |
| P.E.A. Saturado de Superficie Seca (e/(e-g)) | grs./cm ³ | 2.645 | 2.616 | 2.66 |
| Peso Específico Aparente (f/ (f-g)) | grs./cm ³ | 2.712 | 2.687 | |
| % de Absorción ((e-f)/f)*100 | % | 1.506 | 1.625 | 1.565 |

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.6. Determinación de la Densidad Aparente (ASSHTO T19-00 y ASTM C 29)

Este método de ensayo se usa frecuentemente para determinar los valores de la densidad aparente (peso unitario) de los áridos en condición compactada y suelta, que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Es aplicable a aquellos que no excedan de 125 mm como tamaño máximo nominal.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

Tabla de datos y resultados obtenidos

Tabla 50 Resultados Peso unitario suelto grava 3/4

| PRUEBA # | Unidad | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|----------------------|-------------|-------|-------|
| Peso Muestra + Recipiente | grs. | 13709 | 13585 | 13532 |
| Peso del Recipiente | grs. | 0 | 0 | 0 |
| Peso del Agregado Seco | grs. | 13709 | 13585 | 13532 |
| Volumen Recipiente | cm ³ | 9880 | 9880 | 9880 |
| PESO UNITARIO SECO | grs./cm ³ | 1.39 | 1.38 | 1.37 |
| PROMEDIO | grs./cm ³ | 1.38 | | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51 Resultados Peso unitario varillado grava 3/4

| PRUEBA # | Unidad | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|----------------------|-------------|-------|-------|
| Peso Muestra + Recipiente | grs. | 14634 | 14710 | 14683 |
| Peso del Recipiente | grs. | 0 | 0 | 0 |
| Peso del Agregado Seco | grs. | 14634 | 14710 | 14683 |
| Volumen Recipiente | cm ³ | 9880 | 9880 | 9880 |
| PESO UNITARIO SECO | grs./cm ³ | 1.48 | 1.49 | 1.49 |
| PROMEDIO | grs./cm ³ | 1.49 | | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52 Resultados Peso unitario suelto grava 3/8

| PRUEBA # | Unidad | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|----------------------|-------------|-------|-------|
| Peso Muestra + Recipiente | grs. | 13590 | 13512 | 13550 |
| Peso del Recipiente | grs. | 0 | 0 | 0 |
| Peso del Agregado Seco | grs. | 13590 | 13512 | 13550 |
| Volumen Recipiente | cm ³ | 9880 | 9880 | 9880 |
| PESO UNITARIO SECO | grs./cm ³ | 1.38 | 1.37 | 1.37 |
| PROMEDIO | grs./cm ³ | 1.37 | | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 53 Resultados Peso unitario varillado grava 3/8

| PRUEBA # | Unidad | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|----------------------|-------------|-------|-------|
| Peso Muestra + Recipiente | grs. | 14633 | 14619 | 14650 |
| Peso del Recipiente | grs. | 0 | 0 | 0 |
| Peso del Agregado Seco | grs. | 14633 | 14619 | 14650 |
| Volumen Recipiente | cm ³ | 9880 | 9880 | 9880 |
| PESO UNITARIO SECO | grs./cm ³ | 1.48 | 1.48 | 1.48 |
| PROMEDIO | grs./cm ³ | 1.48 | | |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.7. Durabilidad (AASHTO T104-99 y 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 sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

Tabla 54 Datos y resultados del ensayo Durabilidad Grava

| GRANULOMETRÍA | | | Peso Materiales | | Pérdida por diferencia | % Pasa al tamiz más fino | % Pérdida Respecto Tamiz | % Pérdida Respecto Muestra Total |
|--------------------------------|------------|----------|-----------------|---------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Tamiz Pasa | Tamiz Ret. | Material | Antes | Después | | | | |
| | | | | (Grs.) | (Grs.) | (Grs.) | | |
| 1 | 3/4" | 98.6 | 500 | 431.10 | 68.90 | 18.10 | 13.78 | 2.49 |
| 3/4" | 1/2" | 80.5 | 500 | 491.20 | 8.80 | 2.70 | 1.76 | 0.05 |
| 1/2" | 3/8" | 77.8 | 300 | 265.20 | 34.80 | 26.40 | 11.60 | 3.06 |
| 3/8" | Nº 4 | 51.4 | 300 | 288.10 | 11.90 | 51.40 | 3.97 | 2.04 |
| TOTAL % PERDIDA DE PESO | | | | | | | | 7.64 |
| MÁXIMO | | | | | | | | 12 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2. Agregado Fino

3.4.2.1. Granulometría del Agregado Fino (AASHTO T11-96 y ASTM E-117)

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

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

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

Tabla 55 Datos y resultados Granulometría de la arena

| ARENA TRITURADA CON FILLER CONVENCIONAL | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |
| | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 40 | Nº 80 | Nº 200 |
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98.56 | 79.96 | 50.90 | 30.30 | 20.00 | 12.90 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98.90 | 82.70 | 51.56 | 33.90 | 19.30 | 14.10 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 97.90 | 78.90 | 50.96 | 27.56 | 19.60 | 12.84 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo | 100 | 100 | 100 | 100 | 98.90 | 82.70 | 51.56 | 33.90 | 20.00 | 14.10 |
| Valor mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 97.90 | 78.90 | 50.90 | 27.56 | 19.30 | 12.84 |
| Valor promedio | 100 | 100 | 100 | 100 | 98.45 | 80.52 | 51.14 | 30.59 | 19.63 | 13.28 |
| Desviación Estándar | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.51 | 1.96 | 0.36 | 3.18 | 0.35 | 0.71 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.2 Equivalente de Arenas (AASHTO T176-00, ASTM D 2419)

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

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

Tabla 56 Resultados del ensayo equivalente arena

| ARENA TRITURADA CON FILLER CONVENCIONAL | | | | |
|---|----------|-------|----------|------|
| ENSAYO | Lecturas | | Promedio | |
| ENSAYO N° | 1 | 2 | 5.2 | |
| LECTURA NIVEL SUPERIOR | 5.2 | 5.2 | | |
| LECTURA NIVEL INFERIOR | 3.6 | 3.7 | | |
| % DE ARENA | 69.23 | 71.15 | 70.2 | > 45 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.3 Gravedad Específica en Agregados Finos (AASHTO T84-00 y ASTM E128)

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

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

Tabla 57 Tabla de resultados peso específico arena

| DESCRIPCIÓN | Unidad | 1 | 2 | PROMEDIO |
|---|----------------------|--------|--------|-------------|
| Peso Frasco Seco Vacío (u) | grs. | 160 | 161.70 | |
| Peso Frasco+Muestra(f) | grs. | 347.30 | 347.90 | |
| Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x=f-u) | grs. | 300 | 298 | |
| Peso Muestra Seca (a) | grs. | 295.60 | 294.10 | |
| Peso Agua (t) | grs. | 527.40 | 532 | |
| Peso Muestra + Agua (b) | grs. | 714.70 | 718.20 | |
| Peso Espec. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.62 | 2.62 | 2.62 |
| P. E. A. Saturado Sup. Seco($x/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.66 | 2.66 | 2.69 |
| Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.73 | 2.73 | |
| % de Absorción $((x-a)/a)*100$ | % | 1.49 | 1.43 | 1.46 |

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.4. Determinación de la Densidad Aparente (ASSHTO T19-00 y ASTM C 29)

Este método de ensayo se usa frecuentemente para determinar los valores de la densidad aparente (peso unitario) de los áridos en condición compactada y suelta, que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

Tabla 58 Resultado peso unitario suelto de la arena

| PRUEBA # | Unidad | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|
| Peso Muestra + Recipiente | grs. | 4825 | 4877 | 4900 |
| Peso del Recipiente | grs. | 0 | 0 | 0 |
| Peso del Agregado Seco | grs. | 4825 | 4877 | 4900 |
| Volumen Recipiente | cm ³ | 2935 | 2935 | 2935 |
| PESO UNITARIO SECO | grs./cm ³ | 1.64 | 1.66 | 1.67 |
| PROMEDIO | grs./cm ³ | 1.66 | | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59 Resultado peso unitario compactado de la arena

| PRUEBA # | Unidad | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|
| Peso Muestra + Recipiente | grs. | 5322 | 5320 | 5272 |
| Peso del Recipiente | grs. | 0 | 0 | 0 |
| Peso del Agregado Seco | grs. | 5322 | 5320 | 5272 |
| Volumen Recipiente | cm ³ | 2935 | 2935 | 2935 |
| PESO UNITARIO SECO | grs./cm ³ | 1.81 | 1.81 | 1.80 |
| PROMEDIO | grs./cm ³ | 1.81 | | |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.5. Límites de Atterberg (ASTM D 4318-84).

LÍMITE LÍQUIDO.-El contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara, se separa con una herramienta patrón y se deja

caer desde una altura de 1 cm después de 25 golpes y ver el momento en el que se cierra la abertura creada.

LÍMITE PLÁSTICO.-El contenido de humedad que tiene el suelo cuando el mismo empieza a producir grietas y desmoronamientos, al construir con la mano pequeños cilindros de 3 mm de diámetro.

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

Tabla 60 Datos y resultados límites de Atterberg

| N° Tara | Peso Sh+Tara | Peso Ss+Tara | Peso agua | Peso Tara | Peso Suelo Seco | LL | N° de Golpes |
|-----------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|--------------|
| 2 | 26.25 | 24.65 | 1.60 | 15.55 | 9.10 | 17.58 | 23 |
| 17 | 28.82 | 26.8 | 2.02 | 15.84 | 10.96 | 18.43 | 21 |
| Límite Líquido | | | | | | 16.80 | |

Fuente: Elaboración Propia

LIMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90

NP (no plástico).

Determinación del índice de plasticidad

$$IP=LL-LP$$

$$IP=NP$$

Clasificación AASHTO A-3(0)

3.4.2.6. Durabilidad (AASHTO T104-99 y 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 sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra.

El procedimiento y descripción del ensayo se verá en ANEXO 1.

Tabla 61 Resultados del ensayo durabilidad de la arena

| ARENA TRITURADA | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|----------|-----------------|----------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| GRANULOMETRÍA | | Material | Peso Materiales | | Perdida por diferencia (Grs.) | % Pasa al tamiz más fino | % Perdida Respecto Tamiz | % Perdida Respecto Muestra Total |
| Pasa | Ret. | | Antes (Grs.) | Después (Grs.) | | | | |
| 3/8" | N° 4 | 51.40 | 300 | 294.60 | 5.40 | 10.80 | 1.80 | 0.19 |
| N° 4 | N° 8 | 40.60 | 100 | 95.80 | 4.20 | 10.90 | 4.20 | 0.46 |
| N° 8 | N° 16 | 29.70 | 100 | 97.50 | 2.50 | 14.25 | 2.50 | 0.36 |
| N° 16 | N° 40 | 15.45 | 100 | 97.60 | 2.40 | 5.55 | 2.40 | 0.13 |
| N° 40 | N° 80 | 9.90 | 100 | 97.50 | 2.50 | 9.90 | 2.50 | 0.25 |
| TOTAL % DE PERDIDA DE PESO | | | | | | | | 1.19 |
| MÁXIMO | | | | | | | | 12 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3. Agregado Mineral (filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar)

3.4.3.1 Tamaño Máximo Nominal

El TMN de la ceniza corresponde al material que pasa el 100 % de la muestra y es:

TMN=N°16 (1,18 mm).

3.6.3.2. Granulometría del Filler (AASHTO T27-99 y ASTM E40)

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.

Colocamos los tamices en orden de modo que el tamaño de abertura de los mismos sea decreciente, estos tamices estarán ordenados de la siguiente manera: (N°10, N°16, N°40, N°100, N°200, y la bandeja).

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

Tabla 62 Resultados granulometría ceniza de bagazo

| FILLER DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |
| | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | N° 4 | N° 8 | N° 16 | N° 40 | N° 80 | N° 200 |
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 95.00 | 58.27 | 26.33 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 95.27 | 57.93 | 26.60 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 93.93 | 58.83 | 27.17 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 95.27 | 58.83 | 27.17 |
| Valor mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 93.93 | 57.93 | 26.33 |
| Valor promedio | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 94.73 | 58.34 | 26.70 |
| Desviación Estándar | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.71 | 0.46 | 0.43 |

Fuente: Elaboración Propia

En el manual de la ABC no existen especificaciones para la granulometría de un filler de aporte proveniente de residuos de procesos industriales como es el que se plantea en el estudio. Pero si existen especificaciones de granulometría para un filler natural de rocas naturales el cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 63 Granulometría filler mineral.

| Número del tamiz | Porcentaje en peso seco que pasa |
|-------------------------|---|
| 30 | 100 |
| 100 | 90 |
| 200 | 65 |

Fuente: Manual de la ABC

En este caso no cumple con la granulometría nuestro filler de ceniza, pero como se está realizando un estudio de investigación se verificará si se adecua a la curva de

diseño de mezclas asfálticas al combinar con los demás agregados pétreos, lo que se muestra en el **CAPITULO 4**.

3.4.3.3. Gravedad Específica en Agregados Finos (AASHTO T84-00 y ASTM E128)

Definición.- Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso. El procedimiento de cálculo es el mismo realizado anteriormente para la arena.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1.

Tabla 64 Resultados peso específico del filler de ceniza

| FILLER DE CENIZA DE BAGAZO | | | | |
|---|----------------------|----------|----------|----------|
| DESCRIPCIÓN | Unidad | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 | PROMEDIO |
| Peso Frasco Seco Vacío (u) | grs. | 230.90 | 230.90 | |
| Peso Frasco+Muestra(f) | grs. | 409.20 | 408.90 | |
| Peso Muestra Saturada de Superficie Seca($x=f-u$) | grs. | 300 | 300 | |
| Peso Muestra Seca (a) | grs. | 296.30 | 296.10 | |
| Peso Agua (t) | grs. | 572.80 | 572.80 | |
| Peso Muestra + Agua (b) | grs. | 751.10 | 750.80 | |
| Peso Espec. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.43 | 2.43 | 2.43 |
| P. E. A. Saturado Sup. Seco($x/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.47 | 2.46 | 2.49 |
| Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-b$) | grs./cm ³ | 2.51 | 2.51 | |
| % de Absorción $((x-a)/a)*100$ | % | 1.25 | 1.32 | 1.28 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3.4 Límites de Atterberg (ASTM D 4318-84).

LÍMITE LÍQUIDO.-El contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara, se separa con una herramienta patrón y se deja

caer desde una altura de 1 cm después de 25 golpes y ver el momento en el que se cierra la abertura creada.

LÍMITE PLÁSTICO.-El contenido de humedad que tiene el suelo cuando el mismo empieza a producir grietas y desmoronamientos, al construir con la mano pequeños cilindros de 3 mm de diámetro.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1.

Tabla 65 Datos y resultados límites de Atterberg de la ceniza

| N° Tara | Peso Sh+Tara | Peso Ss+Tara | Peso agua | Peso Tara | Peso Suelo Seco | LL | N° de Golpes |
|---------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|-------|--------------|
| 7 | 29.08 | 25.63 | 3.45 | 15.93 | 9.70 | 35.57 | 4 |

Fuente: Elaboración Propia

LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90

NP (no plástico).

Determinación del índice de plasticidad: $IP=NP$

Clasificación AASHTO = A-2-6(0)

3.4.4. Arena con Filler de ceniza de Bagazo con los Porcentajes Adicionados de 3%, 5%, 7%.

Se separó el Filler Natural de la arena chancada, para poder adicionar los porcentajes de Filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar con los siguientes porcentajes: 3%, 5%, 7% parámetros que están dentro de lo que indica la norma. El procedimiento para separar el Filler natural se realizó por el método de lavado a través del tamiz N° 200 (ASTM E 117, AASHTO T11-96).

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1.

3.4.4.1. Granulometría del Agregado Fino (AASHTO T11-96ASTM E 117)

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar los gránulos de que está formado según su tamaño, esta separación se hace mediante una colección de tamices de malla cuadrada. Realizamos la granulometría con las 3 combinaciones de arena con filler de ceniza de bagazo.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

Tabla 66 Resultados granulometría con el 3% de filler

| ARENA CON EL 3% DE FILLER DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |
| | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 40 | Nº 80 | Nº 200 |
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.14 | 75.71 | 63.57 | 47.14 | 33.29 | 6.00 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.36 | 76.43 | 63.14 | 47.43 | 34.29 | 6.86 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.29 | 75.43 | 62.14 | 46.43 | 33.00 | 5.43 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.36 | 76.43 | 63.57 | 47.43 | 34.29 | 6.86 |
| Valor mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.14 | 75.43 | 62.14 | 46.43 | 33.00 | 5.43 |
| Valor promedio | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.26 | 75.86 | 62.95 | 47.00 | 33.52 | 6.10 |
| Desviación Estándar | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.52 | 0.73 | 0.52 | 0.68 | 0.72 |

Tabla 67 Resultados granulometría con el 5 % de filler

| ARENA CON EL 5% DE FILLER DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |
| | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 40 | Nº 80 | Nº 200 |
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.43 | 76.86 | 64.71 | 48.57 | 34.14 | 13.29 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.36 | 77.43 | 65.57 | 49.29 | 34.57 | 15.00 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.71 | 78.29 | 64.29 | 47.86 | 33.43 | 12.86 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.71 | 78.29 | 65.57 | 49.29 | 34.57 | 15.00 |
| Valor mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.36 | 76.86 | 64.29 | 47.86 | 33.43 | 12.86 |
| Valor promedio | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.50 | 77.52 | 64.86 | 48.57 | 34.05 | 13.71 |
| Desviación Estándar | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.72 | 0.65 | 0.71 | 0.58 | 1.13 |

Tabla 68 Resultados granulometría con el 7 % de filler

| ARENA CON EL 7% DE FILLER DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |

| | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | N° 4 | N° 8 | N° 16 | N° 40 | N° 80 | N° 200 |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.57 | 78.43 | 67.00 | 51.86 | 35.71 | 17.14 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.64 | 77.57 | 66.29 | 50.71 | 36.43 | 18.29 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.86 | 79.14 | 67.29 | 52.57 | 37.43 | 17.71 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.86 | 79.14 | 67.29 | 52.57 | 37.43 | 18.29 |
| Valor mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.57 | 77.57 | 66.29 | 50.71 | 35.71 | 17.14 |
| Valor promedio | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.69 | 78.38 | 66.86 | 51.71 | 36.52 | 17.71 |
| Desviación Estándar | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.79 | 0.52 | 0.94 | 0.86 | 0.57 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.2. Equivalente de Arenas (AASHTO T176-00 y ASTM D 2419)

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

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

Tabla 69 Resultados equivalente arena con 3 % de ceniza

| ARENA CON EL 3% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | |
|--|-----------------|-------|-----------------|------|
| ENSAYO | Lecturas | | Promedio | |
| ENSAYO N° | 1 | 2 | 5.05 | |
| LECTURA NIVEL SUPERIOR | 5.1 | 5 | | |
| LECTURA NIVEL INFERIOR | 3.3 | 3.5 | | |
| % DE ARENA | 64.71 | 70.00 | 67.4 | > 45 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 70 Resultados equivalente arena con 5 % de ceniza

| ARENA CON EL 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | |
|--|-----------------|-------|-----------------|------|
| ENSAYO | Lecturas | | Promedio | |
| ENSAYO N° | 1 | 2 | 4.35 | |
| LECTURA NIVEL SUPERIOR | 4.3 | 4.4 | | |
| LECTURA NIVEL INFERIOR | 2.7 | 2.8 | | |
| % DE ARENA | 62.79 | 63.64 | 63.2 | > 45 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 71 Resultados equivalente arena con 7 % de ceniza

| ARENA CON EL 7% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | |
|---|----------|-------|-------------|------|
| ENSAYO | Lecturas | | Promedio | |
| ENSAYO N° | 1 | 2 | 4.15 | |
| LECTURA NIVEL SUPERIOR | 4.1 | 4.2 | | |
| LECTURA NIVEL INFERIOR | 2.5 | 2.4 | | |
| % DE ARENA | 60.98 | 57.14 | 59.1 | > 45 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.3 Gravedad Específica en Agregados Finos (AASHTO T84-00 y ASTM E128)

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

Tabla 72 Resultados de peso específico con el 3% de ceniza de bagazo

| DESCRIPCIÓN | Unidad | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 | PROMEDIO |
|---|----------------------|----------|----------|-------------|
| Peso Frasco Seco Vacío (u) | grs. | 160.00 | 161.70 | |
| Peso Frasco+Muestra(f) | grs. | 340.60 | 341.30 | |
| Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x=f-u) | grs. | 300 | 298 | |
| Peso Muestra Seca (a) | grs. | 294.20 | 292.90 | |
| Peso Agua (t) | grs. | 527.40 | 525.70 | |
| Peso Muestra + Agua (b) | grs. | 708.00 | 705.30 | |
| Peso Espec. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.46 | 2.47 | 2.47 |
| P. E. A. Saturado Sup. Seco($x/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.51 | 2.51 | 2.55 |
| Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-b$) | grs./cm ³ | 2.59 | 2.59 | |
| % de Absorción $((x-a)/a)*100$ | % | 1.97 | 1.84 | 1.91 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 73 Resultados de peso específico con el 5 % de ceniza de bagazo

| DESCRIPCIÓN | Unidad | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 | PROMEDIO |
|----------------------------|--------|----------|----------|----------|
| Peso Frasco Seco Vacío (u) | grs. | 160.00 | 161.70 | |
| Peso Frasco+Muestra(f) | grs. | 334.30 | 336.20 | |

| | | | | |
|---|----------------------|--------|--------|-------------|
| Peso Muestra Saturada de Superficie Seca($x=f-u$) | grs. | 300 | 298 | |
| Peso Muestra Seca (a) | grs. | 291.60 | 289.50 | |
| Peso Agua (t) | grs. | 527.40 | 525.70 | |
| Peso Muestra + Agua (b) | grs. | 701.70 | 700.20 | |
| Peso Espec. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.32 | 2.34 | 2.33 |
| P. E. A. Saturado Sup. Seco($x/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.39 | 2.41 | 2.45 |
| Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-b$) | grs./cm ³ | 2.49 | 2.52 | |
| % de Absorción $((x-a)/a)*100$ | % | 2.88 | 3.04 | 2.96 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 74 Resultados de peso específico con el 7 % de ceniza de bagazo

| DESCRIPCIÓN | Unidad | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 | PROMEDIO |
|---|----------------------|----------|----------|-------------|
| Peso Frasco Seco Vacío (u) | grs. | 160.00 | 161.70 | |
| Peso Frasco+Muestra(f) | grs. | 328.10 | 328.50 | |
| Peso Muestra Saturada de Superficie Seca($x=f-u$) | grs. | 300 | 298 | |
| Peso Muestra Seca (a) | grs. | 288.50 | 286.50 | |
| Peso Agua (t) | grs. | 527.40 | 525.70 | |
| Peso Muestra + Agua (b) | grs. | 695.50 | 692.50 | |
| Peso Espec. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.19 | 2.18 | 2.18 |
| P. E. A. Saturado Sup. Seco($x/((x+t)-b)$) | grs./cm ³ | 2.27 | 2.27 | 2.33 |
| Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-b$) | grs./cm ³ | 2.40 | 2.39 | |
| % de Absorción $((x-a)/a)*100$ | % | 3.99 | 4.12 | 4.05 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.4 Determinación de la Densidad Aparente (ASSHTO T19-00 y ASTM C)

Este método de ensayo se usa frecuentemente para determinar los valores de la densidad aparente (peso unitario) de los áridos en condición compactada y suelta, que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

Tabla 75 Resultados peso unitario suelto de la ceniza

| PRUEBA # | Unidad | 3% filler de ceniza | 5% filler de ceniza | 7% filler de ceniza |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Peso Muestra + Recipiente | grs. | 4789 | 4755 | 4822 |
| Peso del Recipiente | grs. | 0 | 0 | 0 |
| Peso del Agregado Seco | grs. | 4789 | 4755 | 4822 |
| Volumen Recipiente | cm ³ | 2935 | 2935 | 2935 |
| PESO UNITARIO SECO | grs./cm ³ | 1.63 | 1.62 | 1.64 |
| PROMEDIO | grs./cm ³ | 1.63 | | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 76 Resultados peso unitario compactado de la ceniza

| PRUEBA # | Unidad | 3% filler de ceniza | 5% filler de ceniza | 7% filler de ceniza |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Peso Muestra + Recipiente | grs. | 5100 | 5136 | 5125 |
| Peso del Recipiente | grs. | 0 | 0 | 0 |
| Peso del Agregado Seco | grs. | 5100 | 5136 | 5125 |
| Volumen Recipiente | cm ³ | 2935 | 2935 | 2935 |
| PESO UNITARIO SECO | grs./cm ³ | 1.74 | 1.75 | 1.75 |
| PROMEDIO | grs./cm ³ | 1.74 | | |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.5. Límites de atterberg (ASTM D 4318-84).

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

LÍMITE PLÁSTICO.-El contenido de humedad que tiene el suelo cuando el mismo empieza a producir grietas y desmoronamientos, al construir con la mano pequeños cilindros de 3 mm de diámetro.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1.

Tabla 77 Datos y Resultados de Limites de Atterberg

| ARENA CON EL 3% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|---------------|---------------------|
| N° Tara | Peso Sh+Tara (g) | Peso Ss+Tara (g) | Peso agua (g) | Peso Tara (g) | Peso Suelo Seco (g) | LL (%) | N° de Golpes |
| 15 | 43.55 | 39.20 | 4.35 | 15.22 | 23.98 | 18.14 | 5 |
| ARENA CON EL 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | |
| 5 | 39.47 | 35.48 | 3.99 | 15.5 | 19.98 | 19.97 | 4 |
| ARENA CON EL 7% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | |
| 22 | 40.55 | 36.15 | 4.4 | 15.22 | 20.93 | 21.02 | 5 |

Fuente: Elaboración Propia

LIMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90

NP (no plástico).

Determinación del índice de plasticidad:

IP=NP.

Clasificación AASHTO:

Arena con el 3% de filler de ceniza= A-1-b (0).

Arena con el 5% de filler de ceniza= A-1-b (0).

Arena con el 7% de filler de ceniza= A-2-4 (0).

3.4.4.6. Durabilidad (AASHTO T104-99 y 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 sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

Tabla 78 Resultados ensayo durabilidad con 3% de ceniza de bagazo

| ARENA CON EL 3% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | | |
|---|-------|----------|-----------------|---------|------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| GRANULOMETRÍA | | | Peso Materiales | | Perdida por diferencia | % Pasa al tamiz más fino | % Perdida Respecto | % Perdida Respecto |
| Tamiz | | Material | Antes | Después | | | | |
| Pasa | Ret. | | | (Grs.) | (Grs.) | (Grs.) | | Tamiz |
| 3/8" | N° 4 | 49.19 | 300 | 294.20 | 5.80 | 10.70 | 1.93 | 0.21 |
| N° 4 | N° 8 | 38.49 | 100 | 95.00 | 5.00 | 3.73 | 5.00 | 0.19 |
| N° 8 | N° 16 | 34.76 | 100 | 96.60 | 3.40 | 16.34 | 3.40 | 0.56 |
| N° 16 | N° 40 | 18.42 | 100 | 97.00 | 3.00 | 9.05 | 3.00 | 0.27 |
| N° 40 | N° 80 | 9.37 | 100 | 96.20 | 3.80 | 9.37 | 3.80 | 0.36 |
| TOTAL % DE PERDIDA DE PESO | | | | | | | | 1.37 |
| MÁXIMO | | | | | | | | 12 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 79 Resultados ensayo durabilidad con 5 % de ceniza de bagazo

| ARENA CON EL 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | | |
|---|-------|----------|-----------------|---------|------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| GRANULOMETRÍA | | | Peso Materiales | | Perdida por diferencia | % Pasa al tamiz más fino | % Perdida Respecto | % Perdida Respecto |
| Tamiz | | Material | Antes | Después | | | | |
| Pasa | Ret. | | | (grs.) | (grs.) | (grs.) | | Tamiz |
| 3/8" | N° 4 | 50.13 | 300 | 294.20 | 6 | 9.03 | 2 | 0.18 |
| N° 4 | N° 8 | 41.10 | 100 | 95.00 | 5.00 | 3.04 | 5.00 | 0.15 |
| N° 8 | N° 16 | 38.06 | 100 | 96.60 | 3.40 | 13.88 | 3.40 | 0.47 |
| N° 16 | N° 40 | 24.18 | 100 | 96.50 | 3.50 | 10.88 | 3.50 | 0.38 |
| N° 40 | N° 80 | 13.30 | 100 | 95.50 | 4.50 | 13.30 | 4.50 | 0.60 |
| TOTAL % DE PERDIDA DE PESO | | | | | | | | 1.60 |
| MÁXIMO | | | | | | | | 12 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 80 Resultados ensayo durabilidad con 7 % de ceniza de bagazo

| ARENA CON EL 7% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | |
|---|----------|-----------------|---------|------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| GRANULOMETRÍA | | Peso Materiales | | Perdida por diferencia | % Pasa al tamiz | % Perdida Respecto | % Perdida Respecto |
| Tamiz | Material | Antes | Después | | | | |

| Pasa | Ret. | | (grs.) | (grs.) | (grs.) | más fino | Tamiz | Muestra Total |
|-----------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------------|-------|------------------|
| 3/8" | Nº 4 | 51.06 | 300 | 294.20 | 5.80 | 7.34 | 1.93 | 0.14 |
| Nº 4 | Nº 8 | 43.72 | 100 | 95.00 | 5.00 | 2.37 | 5.00 | 0.12 |
| Nº 8 | Nº 16 | 41.35 | 100 | 96.60 | 3.40 | 11.42 | 3.40 | 0.39 |
| Nº 16 | Nº 40 | 29.93 | 100 | 94.70 | 5.30 | 12.71 | 5.30 | 0.67 |
| Nº 40 | Nº 80 | 17.22 | 100 | 94.20 | 5.80 | 17.22 | 5.80 | 1 |
| TOTAL % DE PERDIDA DE PESO | | | | | | | | 2.18 |
| MÁXIMO | | | | | | | | 12 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5. Caracterización del Cemento Asfáltico Convencional.

3.4.5.1 Ensayo de peso específico (AASHTO T-227 y ASTM D-70)

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

Gravedad específica

La gravedad específica de materiales bituminosos semi-sólidos, cementos del asfalto, y los alquitranes suaves se expresarán como la relación de la masa de un volumen dado del material a 25°C (77°F) o a 15.6°C (60°F) al que es igual de un volumen de agua a la misma temperatura, y debe expresarse así: Gravedad Específica = 25/25°C (77/77°F) o 15.6/15.6°C (60/60°F).

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 2.

Tabla 81 Resultados del peso específico del asfalto

| ENSAYO | UNIDAD | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 | PROMEDIO |
|-----------------|--------|-------------|-------------|----------|
| Peso Picnómetro | grs. | 61.99 | 61.99 | 61.99 |

| | | | | |
|---------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|
| Peso Picnómetro+ Agua (25°C) | grs. | 142.78 | 142.78 | 142.78 |
| Peso Picnómetro+ Muestra | grs. | 108.56 | 102.33 | 105.45 |
| Peso Picnómetro + Agua +Muestra | grs. | 143.28 | 143.17 | 143.23 |
| Peso específico | grs./cm ³ | 1.008 | 1.007 | 1.007 |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5.2 Ensayo de penetración de Materiales Bituminosos (AASHTO T 49-93 y ASTM D 5-86)

Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semi-sólido y sólidos. Los materiales que tienen penetraciones debajo de 350 pueden ser probados por el aparato normal y con el siguiente procedimiento. Para materiales que tienen penetraciones entre 350 y 500, se debe usar un aparato especial.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 2.

Datos y resultados obtenidos:

Tabla 82 Resultados del ensayo de penetración del cemento asfáltico

| ENSAYO | | UNIDAD | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 |
|--|-------------|--------|----------|----------|
| Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) | Lectura N°1 | mm | 93 | 94 |
| | Lectura N°2 | mm | 95 | 92 |
| | Lectura N°3 | mm | 94 | 94 |
| PROMEDIO | | mm | 94 | 93.33 |
| PROMEDIO FINAL | | mm | 93.7 | |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5.3. Ensayo de Viscosidad Saybolt-Furol (AASHTO T-72 y ASTM E-102)

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas a las que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o

consistencia del betún asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol o en el ensayo de viscosidad cinemática.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 2.

Tabla 83 Resultados del ensayo viscosidad

| ENSAYO | UNIDAD | ENSAYO1 | ENSAYO 2 |
|---------------------------|--------|---------|----------|
| Viscosidad Saybolt 135 °C | seg. | 142 | 145 |
| PROMEDIO FINAL | seg. | 143.5 | |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5.4 Punto Inflamación (AASHTO T48 y ASTM D92)

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.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 2.

Datos y resultados obtenidos en la práctica:

Tabla 84 Resultados del ensayo punto de inflamación del asfalto

| ENSAYO | UNIDAD | ENSAYO1 | ENSAYO 2 |
|----------------------|--------|---------|----------|
| Punto de Inflamación | °C | 284 | 280 |
| PROMEDIO FINAL | °C | 282 | |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5.5. Punto de Ablandamiento (AASHTO T53 y ASTM D36)

Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola.

El procedimiento y la descripción de la práctica se verá en el ANEXO 2.

Tabla 85 Resultados del ensayo punto de ablandamiento del asfalto

| ENSAYO | UNIDAD | ENSAYO1 | ENSAYO 2 |
|------------------------|--------|---------|----------|
| Punto de Ablandamiento | °C | 45 | 47 |
| PROMEDIO FINAL | °C | 46 | |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.6. Resultados Finales de la Caracterización de los Materiales

De los ensayos realizados se tiene los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida, proveniente de la normativa del Manual de la ABC, AASHTO, ASTM, valores se encuentran en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 63 Resultados finales ensayos de caracterización del asfalto

| Ensayo | Unidad | Resultados | Especificaciones | | Designación AASHTO |
|---------------------------|----------------------|------------|------------------|--------|-----------------------|
| | | | Mínimo | Máximo | |
| Peso Específico | grs./cm ³ | 1.008 | 1 | 1.05 | T-227 |
| Punto de Inflamación | °C | 282 | >232 | | T-48 |
| Penetración | mm. | 93.7 | 85 | 100 | T-49 |
| Viscosidad Saybolt 135 °C | seg. | 143.5 | 85 | | T-72 |
| Punto de ablandamiento | °C | 46 | 43 | 53 | T-53 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 86 Resultados ensayos de caracterización Grava

| AGREGADO GRUESO | | | |
|-----------------------------|-------------------|------------|------------------------------|
| ENSAYOS | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIONES ASHTOO-ASTM |
| CARAS FRACTURADAS 3/4 | % | 79.5 | >75 |
| CARAS FRACTURADAS 3/8 | % | 76.5 | >75 |
| LAMINADAS 3/4 | % | 2.2 | 15 máx |
| LAMINADAS 3/8 | % | 6.22 | 15 máx |
| CHATAS Y ALARGADAS 3/4 | % | 4.22 | 10 máx |
| CHATAS Y ALARGADAS 3/8 | % | 2.2 | 10 máx |
| DESGASTE DE LOS ÁNGELES 3/4 | % | 27.08 | 35 máx |
| DESGASTE DE LOS ÁNGELES 3/8 | % | 21.76 | 35 máx |
| PESO ESPECÍFICO 3/4 | g/cm ³ | 2.68 | ----- |
| PESOESPECÍFICO 3/8 | g/cm ³ | 2.65 | ----- |
| DURABILIDAD | % | 7.64 | 12 máx |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 87 Resultados ensayos de caracterización Arena y Filler de ceniza

| AGREGADO FINO | | | |
|-----------------------|-------------------|------|--------|
| EQUIVALENTE ARENA | % | 70.2 | >45 |
| PESO ESPECÍFICO | g/cm ³ | 2.73 | ---- |
| DURABILIDAD | % | 1.19 | 12 máx |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | % | NP | NP |
| FILLER | | | |
| PESO ESPECÍFICO | g/cm ³ | 2.51 | ---- |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | % | NP | NP |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 88 Resultados de la caracterización de la ceniza mezclada con la arena

| ARENA CON 3% DE FILLER DE CENIZA DE BAGAZO | | | |
|---|--------|------------|------------------------------|
| ENSAYOS | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIONES AASHTO-ASTM |
| EQUIVALENTE ARENA | % | 67.5 | >45 |

| | | | |
|---|-------------------|------|---------|
| PESO ESPECÍFICO | g/cm ³ | 2.59 | |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | % | NP | NP |
| DURABILIDAD | % | 1.46 | 12 máx. |
| ARENA CON 5% DE FILLER DE CENIZA DE BAGAZO | | | |
| EQUIVALENTE ARENA | % | 63.2 | >45 |
| PESO ESPECÍFICO | g/cm ³ | 2.5 | |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | % | NP | NP |
| DURABILIDAD | % | 1.55 | 12 máx. |
| ARENA CON 7% DE FILLER DE CENIZA DE BAGAZO | | | |
| EQUIVALENTE ARENA | % | 59.1 | >45 |
| PESO ESPECÍFICO | g/cm ³ | 2.39 | |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | % | NP | NP |
| DURABILIDAD | % | 1.91 | 12 máx. |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.7. Ensayos Sobre la Mezcla Asfáltica

3.4.7.1. Ensayos de Estabilidad y Fluencia (ASSHTO T-27)

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

La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60 ° C (140 ° F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).

La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.

La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

El ensayo se detalla en el CAPÍTULO 4.

3.4.7.2. Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste (NLT – 159/86)

El ensayo cántabro sirve para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la Máquina de Los Ángeles. El procedimiento se puede emplear tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio, como para el control en obra de las mismas. Este método fue desarrollado por los españoles con la finalidad de facilitar el desarrollo y optimización de la composición y comportamiento de las mezclas asfálticas, la normativa española NLT-159/86 actual, establece que la pérdida por desgaste en el ensayo cántabro a 25°C debe ser menor que el 25% en peso, norma para la cual se regio este estudio .

El procedimiento se aplica a las mezclas asfálticas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm. El ensayo permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

El ensayo se detalla en el CAPÍTULO 4.

CAPITULO IV

“INGENIERÍA DEL PROYECTO”

4. Diseño de mezclas asfálticas mediante el método de diseño Marshall (AASHTO T245-97 y ASTM D-1559)

El diseño de mezclas asfálticas en caliente, así como el diseño de otros materiales de ingeniería, consiste principalmente en seleccionar y hacer proporciones de los componentes, para obtener las propiedades deseadas o especificadas en la construcción. El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, de modo que la mezcla cumpla con los requisitos establecidos para su diseño.

El criterio para conseguir una mezcla satisfactoria está basado en requisitos mínimos de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos.

Este método determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto.

4.1. Diseño de la Mezcla Asfáltica Convencional

4.1.1. Fórmula de Trabajo

Con los resultados de la distribución granulométrica de los agregados utilizados, se usara para el diseño la gradación y formula de trabajo de la faja "C", ya que nuestra distribución granulométrica están dentro de los parámetros establecidos que se muestra.

La faja "C" corresponde para el tráfico pesado; se optara para utilizar este tráfico porque es la que requiere mejores propiedades que las demás fajas, si cumple con sus parámetros de propiedades establecidas por ende cumplirá con las demás por que requieren de menor calidad.

En Anexo 4 se detalla las tablas de requisitos para el diseño de mezclas asfálticas.

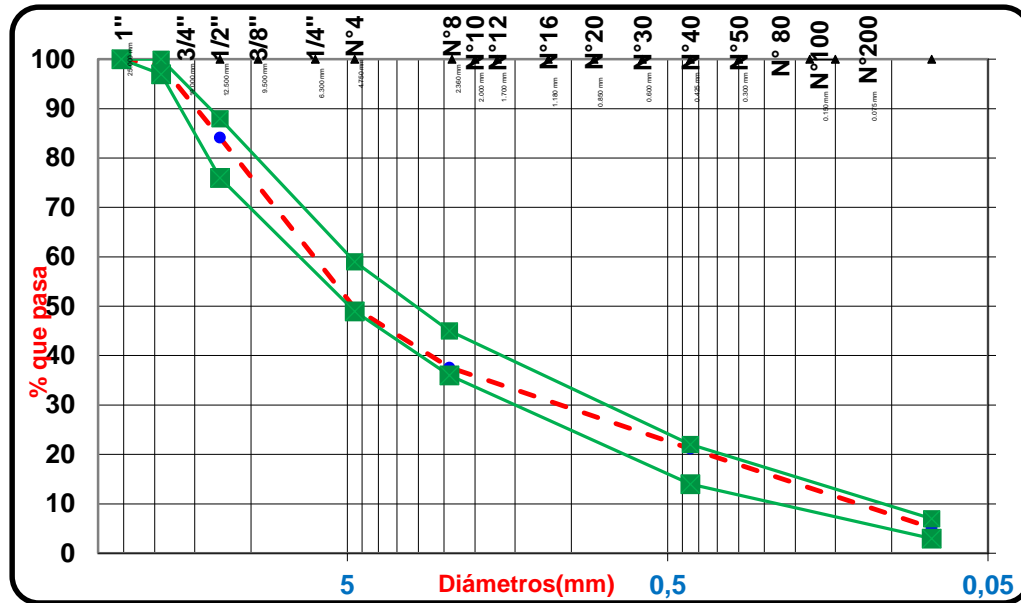
Tabla 89 Especificaciones de granulometría para la investigación

| TAMICES | GRADACIÓN DE LOS AGREGADOS | | | |
|----------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| | A | B | C | D |
| 2" | 100 | | | |
| 1 1/2 " | 97--100 | 100 | | |
| 1" | | 97--100 | 100 | |
| 3/4 " | 66--88 | | 97--100 | 100 |
| 1/2" | | | 76--88 | 97--100 |
| 3/8" | 48-60 | 53--70 | | |
| Nº 4 | 33--45 | 40--52 | 49--59 | 57--69 |
| Nº 8 | 25--33 | 25--39 | 36--45 | 41--49 |

| | | | | |
|--------------|-------|----------|----------|----------|
| N° 40 | 9--17 | 10--19 | 14--22 | 14--22 |
| N° 200 | 3--8 | 3--8 | 3--7 | 3--7 |
| % DE ASFALTO | 4--7 | 4,5--7,5 | 4,5--9,0 | 4,5--9,0 |

Fuente: Manual de la ABC

Figura 9 Especificaciones de la faja de trabajo "C"



Fuente: Manual de la ABC

El nivel de tráfico es un factor importante en el diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall, ya que cada tipo de tráfico tiene diferente especificación de las propiedades que debe cumplir la mezcla. A continuación se conceptualiza los tipos de tráfico considerados para diseño de mezclas asfálticas.

- **Traffic liviano.**- Aquel cuyo tráfico comercial es menor a 50 automóviles y camionetas diarios ($ESALS < 10^4$).
- **Traffic mediano.**- Cuyo tránsito comercial está entre 50 - 300 camiones simples para unidad de carga y autobuses diarios ($ESALS$ de $10^4 - 10^6$).
- **Traffic pesado.**- Aquel que tiene un tránsito comercial mayor a 300 camiones con semirremolque, remolque y autobuses diarios ($ESAL > 10^6$).

Para este estudio se diseñó la mezcla asfáltica para tráfico pesado, porque este requiere de mejores propiedades que los demás, si cumple por ende cumplirá para los demás. **En ANEXO 4 se detalla las tablas de requisitos de las propiedades para el diseño de mezclas asfálticas de acuerdo al tráfico.**

4.1.2 Combinación de Agregados

En la fabricación de carpetas asfálticas, es importante emplear áridos de granulometría correcta porque entonces se conseguirá una carpeta de rodadura de buena calidad y una economía de ligante. Para la combinación de agregados se estableció los porcentajes de la grava 3/4, gravilla 3/8 y arena triturada con filler convencional utilizando el “Método por tanteos”, respetando los parámetros establecidos por norma de la faja “C” para el diseño de mezclas asfálticas de acuerdo a la granulometría determinada de los agregados.

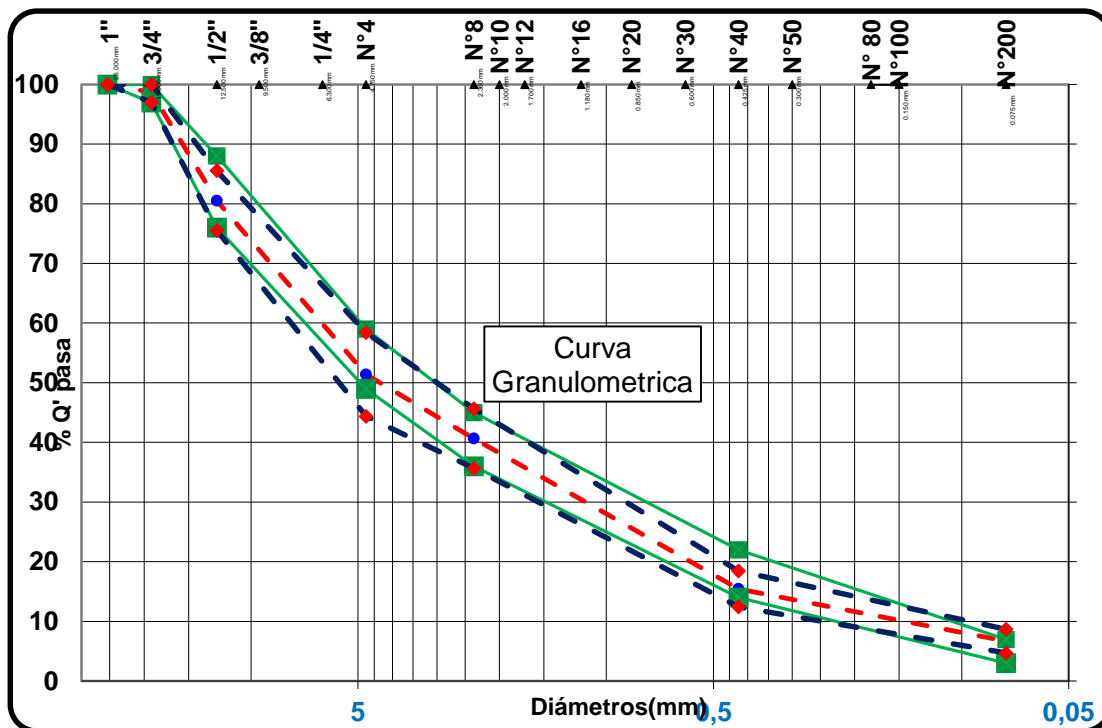
Se combinará 20 % grava 3/4, 30 % de gravilla 3/8 y 50 arena triturada con filler convencional; ya que con estos porcentajes se ajustan bien a la curva de diseño. De acuerdo a la granulometría determinada de la arena triturada, esta contiene 6.6 % de filler, en el siguiente cuadro se muestra la planilla de granulometría proyectada para la dosificación de materiales.

Tabla 90 Dosificación para obtener el porcentaje óptimo de Cemento asfáltico.

| AGREGADO | | Grava 3/4 | | Gravilla 3/8 | | Arena con filler | | % QUE PASA | FAJA | | TOLERANCIAS (+/-) | FAJA | | |
|----------|-------|-----------|--------|--------------|--------|------------------|--------|------------|------------------|------|-------------------|----------------------|----------------------|------|
| % USADO | | 20% | | 30% | | 50% | | | CURVA DE TRABAJO | | | ESPECIF. GRAD. MEDIA | ESPECIF. GRAD. MEDIA | |
| TAMICES | | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | | INF. | SUP. | | | INF. | SUP. |
| PULG | mm. | | | | | | | | | | | | | |
| 1" | 25.40 | 100.0 | 20.0 | 100.0 | 30.0 | 100.0 | 50.0 | 100.0 | 100 | 100 | 0% | 100 | 100 | |
| 3/4" | 19.10 | 93.2 | 18.6 | 100.0 | 30.0 | 100.0 | 50.0 | 98.6 | 97 | 100 | 0% | 97 | 100 | |
| 1/2" | 12.50 | 6.6 | 1.3 | 97.4 | 29.2 | 100.0 | 50.0 | 80.5 | 76 | 86 | 5% | 76 | 88 | |
| 3/8" | 9.50 | 0.8 | 0.2 | 92.1 | 27.6 | 100.0 | 50.0 | 77.8 | | | | | | |
| #4 | 4.75 | 0.4 | 0.1 | 6.9 | 2.1 | 98.5 | 49.2 | 51.4 | 44 | 58 | 7% | 49 | 59 | |
| #8 | 2.360 | 0.2 | 0.0 | 1.1 | 0.3 | 80.5 | 40.3 | 40.6 | 36 | 46 | 5% | 36 | 45 | |
| #16 | 1.180 | 0.2 | 0.0 | 0.8 | 0.2 | 58.9 | 29.5 | 29.7 | | | | | | |
| #40 | 0.425 | 0.1 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 30.6 | 15.3 | 15.4 | 12 | 18 | 3% | 14 | 22 | |
| #80 | 0.180 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 19.6 | 9.8 | 9.9 | | | | | | |
| #200 | 0.075 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 13.3 | 6.6 | 6.7 | 5 | 9 | 2% | 3 | 7 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 10 Faja C de trabajo para una mezcla convencional.



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Determinación del Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico 85-100

Para la determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico se realizó 3 briquetas por porcentaje de asfalto, en total se elaboró 18 briquetas mediante el método Marshall, para conocer el porcentaje óptimo a utilizar. Los porcentajes de asfalto se trabajaron en un rango de 0,5 % como recomienda el método Marshall los que son 4.5 % que es el límite inferior de acuerdo a la fórmula de trabajo; 5%; 5.5%,6%, 6.5%,7%. Para cada porcentaje de asfalto se realizaran 3 briquetas para obtener un parámetro confiable, porque entre menos de tres datos puede haber una variación debido a errores que siempre se cometen. Para la dosificación de las probetas se utilizó la granulometría determinada anteriormente:

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se prepararán 6 grupos, con los porcentajes de cemento asfáltico indicados anteriormente y se realizaran 3 briquetas por porcentaje de asfalto. A continuación se muestra la tabla de diseño.

Tabla 91 Dosificación de Diseño Marshall

| TAMIZ | %Pasa | % Retenido | %Ret. Tamiz | 4.50% | | 5.0% | | 5.5% | | 6.0% | | 6.5% | | 7.0% | |
|--------|-------|------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado |
| | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1" | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3/4" | 98.6 | 1.4 | 1.4 | 15.6 | 15.6 | 15.5 | 15.5 | 15.4 | 15.4 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.2 | 15.2 |
| 1/2" | 80.5 | 19.5 | 18.1 | 207.5 | 223.1 | 206.4 | 221.9 | 205.3 | 220.8 | 204.3 | 219.6 | 203.2 | 218.4 | 202.1 | 217.3 |
| 3/8" | 77.8 | 22.2 | 2.8 | 31.6 | 254.6 | 31.4 | 253.3 | 31.2 | 252.0 | 31.1 | 250.7 | 30.9 | 249.3 | 30.7 | 248.0 |
| Nº4 | 51.4 | 48.6 | 26.4 | 302.4 | 557.1 | 300.8 | 554.2 | 299.3 | 551.2 | 297.7 | 548.3 | 296.1 | 545.4 | 294.5 | 542.5 |
| Nº10 | 40.6 | 59.4 | 10.8 | 123.2 | 680.3 | 122.6 | 676.7 | 121.9 | 673.2 | 121.3 | 669.6 | 120.6 | 666.0 | 120.0 | 662.5 |
| Nº16 | 29.7 | 70.3 | 10.9 | 124.9 | 805.2 | 124.3 | 801.0 | 123.6 | 796.8 | 123.0 | 792.5 | 122.3 | 788.3 | 121.6 | 784.1 |
| Nº40 | 15.4 | 84.6 | 14.3 | 163.8 | 969.0 | 162.9 | 963.9 | 162.1 | 958.8 | 161.2 | 953.8 | 160.3 | 948.7 | 159.5 | 943.6 |
| Nº80 | 9.9 | 90.1 | 5.5 | 63.3 | 1032.3 | 63.0 | 1026.9 | 62.7 | 1021.5 | 62.3 | 1016.1 | 62.0 | 1010.7 | 61.7 | 1005.3 |
| Nº200 | 6.7 | 93.3 | 3.2 | 36.9 | 1069.3 | 36.8 | 1063.7 | 36.6 | 1058.1 | 36.4 | 1052.5 | 36.2 | 1046.9 | 36.0 | 1041.3 |
| Filler | 0 | 100.0 | 6.7 | 76.7 | 1146.0 | 76.3 | 1140.0 | 75.9 | 1134.0 | 75.5 | 1128.0 | 75.1 | 1122.0 | 74.7 | 1116.0 |
| | | | Peso Total= | 1146.0 | | 1140.0 | | 1134.0 | | 1128.0 | | 1122.0 | | 1116.0 | |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso Muestra= | 1146.0 | 1140.0 | 1134.0 | 1128.0 | 1122.0 | 1116.0 |
| Peso Asfalto= | 54.0 | 60.0 | 66.0 | 72.0 | 78.0 | 84.0 |
| Peso Total Material + C. Asfáltico= | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 |

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Determinación de la Temperatura de Mezcla y Compactación

La temperatura a la cuál debe calentarse el cemento asfáltico para producir viscosidades Saybolt – Furol de 85 ± 10 y 140 ± 15 segundos, debe establecerse como la de mezcla con los agregados y compactación respectivamente. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

Debe evitarse un calentamiento excesivo del cemento asfáltico, el cual trae como consecuencia su endurecimiento.

ENSAYO DE VISCOSIDAD - TEMPERATURA

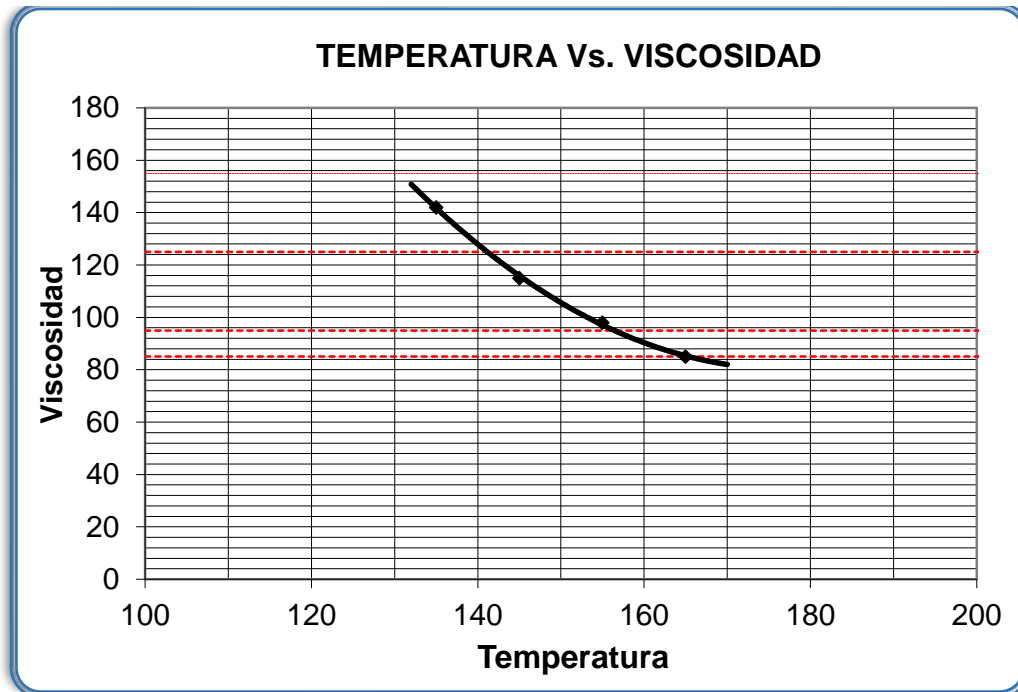
Tabla 92 Variación de temperatura vs viscosidad

| Punto | Temperatura (°C) | Viscosidad (seg) |
|-------|---------------------|---------------------|
| 1 | 135 | 142 |
| 2 | 145 | 115 |
| 3 | 155 | 98 |
| 4 | 165 | 85 |

Fuente: Elaboración propia.

- a).- Aplicación.- Específica: Viscosidad 85 - 95 Saybolt Furol
Temperatura 157 y 165 °C
- b).- Compactado.- Específica: Viscosidad 125-155 Saybolt Furol
Temperatura 133 y 140 °C

Figura 11 Análisis de la Temperatura vs viscosidad del C.A. 85-100.



Fuente: Elaboración propia.

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

4.1.5 Elaboración de las Briquetas

Equipo:

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza $A \pm 0.1$ gr.
- Bandejas metálicas.
- Placa de calentamiento.
- Termómetro

- Espátula.
- Medidor de la estabilidad.

Mezcla de agregados con el cemento Asfáltico 85-100

Procedimiento:

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C. Por un lado se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 175 a 190 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 157°C.

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

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

Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 150°C ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

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

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

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 18 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

Figura 12 Preparando la mezcla asfáltica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13 Compactando la briqueta Marshall



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14 Briquetas Marshall desmoldadas



Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. Ensayo de Estabilidad y Fluencia (AASHTO T245)

El ensayo debe efectuarse después de transcurridas 16 horas de la compactación. 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. Luego pesamos las briquetas al aire; posteriormente sumergimos en agua 25°C durante 10 min para luego obtener los pesos sumergidos y superficialmente seco para así determinar su densidad, % V.A.M y % vacíos. Antes de realizar el ensayo para calcular la estabilidad y fluencia, las muestras deben ser se sumergidas en baño de agua a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

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

Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que es indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero.

Se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm por minuto (2" / minuto) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60 °C (150 °F) se anota como valor de ESTABILIDAD MARSHALL. Mientras se realiza el ensayo de Estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Figura 15 Ensayo Marshall. Determinación de la estabilidad y flujo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 Briquetas después de pasar por la prensa.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.6.1. Cálculos para el Desarrollo de la Planilla de Resultados de las Propiedades de la Mezcla como Variables de Estudio

A continuación se realizara el cálculo demostrativo para una briqueta con el porcentaje de asfalto de 4.5%.

Identificación:

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

Altura de la briqueta:

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4.5% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla 93 Datos de la medición de la altura de las briquetas

| Identificación | Altura Briqueta (cm) |
|----------------|----------------------------|
| 1 | 6.40 |
| 2 | 6.46 |
| 3 | 6.50 |

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de asfalto:

1c) Base de agregado:

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

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

Base de agregado = 4,71

2c) Base de la mezcla:

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

Peso de la biqueta en el aire:

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

Tabla 94 Datos del peso en el aire de la biqueta

| Identificación | Peso biqueta en el aire (gr.) |
|----------------|-------------------------------|
| 1 | 1189.5 |
| 2 | 1182.5 |
| 3 | 1175.6 |

Fuente: Elaboración propia

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

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

Tabla 95 Datos del peso superficial seco de las biquetas

| Identificación | Peso biqueta en el aire s.s.s (gr.) |
|----------------|-------------------------------------|
| 1 | 1192 |
| 2 | 1184.5 |
| 3 | 1177 |

Fuente: Elaboración propia

Peso de la biqueta sumergida en el agua:

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

Tabla 96 Datos del peso sumergido de las briquetas

| Identificación | Peso briketa sumergida (gr.) |
|----------------|------------------------------|
| 1 | 675.9 |
| 2 | 670.1 |
| 3 | 670 |

Fuente: Elaboración propia

Volumen de la briketa:

Cálculo realizado para la briketa N°1.

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

$$\text{Vol. de briq.} = 1192\text{gr} - 675,9\text{gr}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 516,1\text{gr.}$$

Para la briketa N°2 y 3 se realiza el mismo procedimiento, a continuación mostraremos resultados.

Cálculo realizado para la briketa N°2.

$$\text{Vol. de briq.} = 514,4\text{gr}$$

Cálculo realizado para la briketa N°3.

$$\text{Vol. de briq.} = 507\text{gr}$$

Densidad de la briketa:

1h) Densidad real de la briketa:

Cálculo realizado para la briketa N°1.

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

$$D_{\text{real}} = \frac{1189,5\text{gr}}{516,1 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2,305 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta N°2.

$$D \text{ real} = 2,299 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta N°3.

$$D \text{ real} = 2,319 \text{ gr/cm}^3$$

Promedio:

$$D \text{ real} = 2,307 \text{ gr/cm}^3$$

2h) Densidad máxima teórica de la briqueta:

Cálculo realizado para la briqueta N°1.

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

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{100}{\left(\frac{4,5}{1,007 \text{ gr/cm}^3} \right) + \left(\frac{100 - 4,5}{2,679 \text{ gr/cm}^3} \right)} \right)$$

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{100}{\left(\frac{4,5}{1,007 \text{ gr/cm}^3} \right) + \left(\frac{100 - 4,5}{2,679 \text{ gr/cm}^3} \right)} \right)$$

$$D \text{ max t.} = 2,493 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje de vacíos:

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

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

$$V_v = \left(\frac{2,493 \text{ gr/cm}^3 - 2,307 \text{ gr/cm}^3}{2,493 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$V_v = 7,445\%$$

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

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

$$VAM = \left(\frac{4,5 * 2,307 \text{ gr/cm}^3}{1,007 \text{ gr/cm}^3} \right) + 7,44\%$$

$$VAM = 17,76\%$$

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

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

$$RBV = \left(\frac{17,76 - 7,445}{17,76} \right) * 100$$

$$RBV = 58,07\%$$

Estabilidad y fluencia:

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

Tabla 97 Resultados de la estabilidad y fluencia

| Identificación | Lectura dial | | Real | |
|----------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| | Estabilidad (Kg) | Fluencia (mm) | Estabilidad (Lb) | Fluencia (in) |
| 1 | 1005 | 210 | 2215,6 | 8,3 |
| 2 | 955 | 180 | 2105,4 | 7,1 |
| 3 | 1068 | 210 | 2354,5 | 8,3 |

Fuente: Elaboración propia

Estabilidad real promedio y fluencia para el 4,5 % de asfalto.

$$Estabilidad_{media} = \frac{2215,6 + 2105,4 + 2354,5}{3} =$$

$$Estabilidad_{media} = 2225,2 \text{ lb}$$

$$Fluencia_{media} = \frac{8,3 + 7,1 + 8,3}{3}$$

$$Fluencia_{media} = 7,9 \text{ in}$$

Corrección de la estabilidad por el factor altura (mm):

El factor de corrección de la altura de la briqueta se lo realiza con la tabla de correcciones que se halla en los anexos 2 de acuerdo a la altura que presenta la briqueta.

Tabla 98 Factor de corrección por altura de briqueta

| Identificación | Altura (cm) | Factor de corrección (altura) |
|----------------|-------------|---------------------------------|
| Briqueta N° | | |
| 1 | 6,40 | 0,988 |
| 2 | 6,46 | 0,973 |
| 3 | 6,50 | 0,963 |
| PROMEDIO | 6,45 | 0,974 |

Fuente: Elaboración propia

$$Factor_{media} = \frac{0,988 + 0,973 + 0,963}{3}$$

$$Factor_{media} = 0,974$$

Estabilidad corregida:

$$Estabilidad_{corregida} = 2225,2 \text{ lb} * 0,974$$

$$Estabilidad_{corregida} = 2167,3 \text{ Lb}$$

En la siguiente tabla se muestra la estabilidad y fluencia corregida para el primer porcentaje de asfalto analizado.

Tabla 99 Resultados de Estabilidad y Fluencia corregida

| DESCRIPCIÓN | ESTABILIDAD CORREGIDA (Lb) | FLUENCIA (1/100") |
|-------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 2167.3 | 7,87 |

Fuente: Elaboración propia

Se debe realizar el mismo procedimiento para todas las briquetas elaboradas con los diferentes porcentajes de asfalto para así poder dibujar las curvas correspondientes a las relaciones de:

Porcentaje de Asfalto vs. Densidad de la probeta.

Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.

Porcentaje de Asfalto vs. Vacíos de agregado mineral (VAM)

Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV).

Porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad corregida.

Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).

Con las gráficas se determinara el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla convencional, para después evaluar sus propiedades mecánicas verificando si cumplen con lo establecido en la normativa de su diseño.

El contenido óptimo de asfalto será el promedio aritmético del porcentaje de asfalto que presente mejores propiedades de % VAM, densidad, estabilidad y fluencia, según lo establecido por el método Marshall. A continuación se muestra en la siguiente tabla los resultados de las propiedades Marshall para cada porcentaje de asfalto.

Tabla 100 Resultados de los cálculos de las propiedades de la mezcla para cada % de asfalto

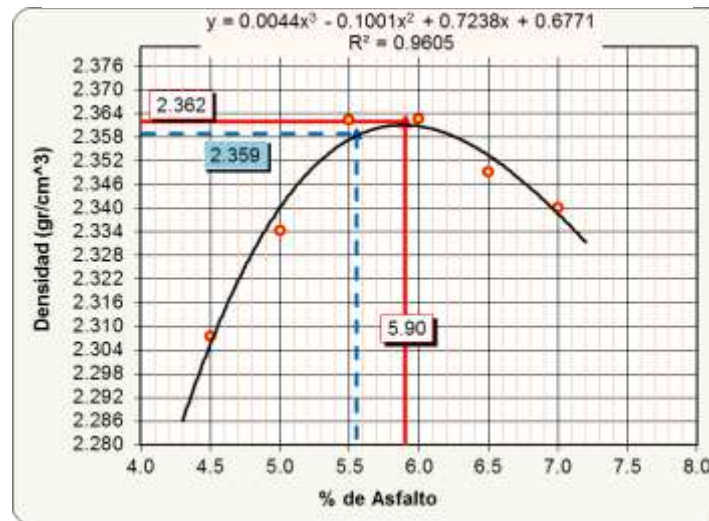
| IDENTIFICACION | ALTURA BRIQUETA (CM) | % DE ASFALTO | | PESO BRIQUETA EN EL AIRE | PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. | PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA | VOLUMEN BRIQUETA | DENSIDAD BRIQUETA | | | % VACIOS | | | ESTABILIDAD (Lb) | | | | | FLUENCIA (PULG) | | | |
|----------------|----------------------|---------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|----------------|----------|-----------|-------------------|------------------|--------|--------|-------------------------------|------------|-----------------|------------|-------------|-------|
| | | BASE AGREGADO | BASE MEZCLA | | | | | REAL (Dr.) | PROMEDIO (Drm.) | MAXIMA TEORICA | MEZCLA | AGREGADOS | LLENOS DE ASFALTO | LECT. DIAL | REAL | MEDIA | FACTOR DE CORRECCION (ALTURA) | MEDIA f.c. | CORREGIDA | LECT. DIAL | FLUJO 1/100 | MEDIA |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | mm | | | | | |
| | | a | b | | | | | c | r | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | p |
| 1 | 6.40 | 4.71 | 4.50 | 1189.5 | 1192.0 | 675.9 | 516.1 | 2.305 | | | | | 1005 | 2215.6 | | 0.988 | | | 210 | 8.3 | | |
| 2 | 6.46 | 4.71 | 4.50 | 1182.5 | 1184.5 | 670.1 | 514.4 | 2.299 | | | | | 955 | 2105.4 | | 0.973 | | | 180 | 7.1 | | |
| 3 | 6.50 | 4.71 | 4.50 | 1175.6 | 1177.0 | 670.0 | 507.0 | 2.319 | 2.307 | 2.493 | 7.44 | 17.76 | 58.07 | 1068 | 2354.5 | 2225.2 | 0.963 | 0.974 | 2167.3 | 210 | 8.3 | 7.87 |
| 4 | 6.42 | 5.26 | 5.00 | 1190.2 | 1192.2 | 681.5 | 510.7 | 2.331 | | | | | | 1256 | 2769.0 | | 0.983 | | | 260 | 10.2 | |
| 5 | 6.42 | 5.26 | 5.00 | 1194.4 | 1196.6 | 684.5 | 512.1 | 2.332 | | | | | | 1088 | 2398.6 | | 0.983 | | | 245 | 9.6 | |
| 6 | 6.38 | 5.26 | 5.00 | 1193.5 | 1195.5 | 685.5 | 510.0 | 2.340 | 2.334 | 2.474 | 5.64 | 17.23 | 67.26 | 1275 | 2810.9 | 2659.5 | 0.993 | 0.986 | 2622.2 | 260 | 10.2 | 10.04 |
| 7 | 6.55 | 5.82 | 5.50 | 1179.5 | 1181.5 | 680.2 | 501.3 | 2.353 | | | | | | 1375 | 3031.3 | | 0.953 | | | 300 | 11.8 | |
| 8 | 6.38 | 5.82 | 5.50 | 1185.5 | 1187.0 | 686.6 | 500.4 | 2.369 | | | | | | 1280 | 2821.9 | | 0.993 | | | 290 | 11.4 | |
| 9 | 6.40 | 5.82 | 5.50 | 1188.0 | 1188.9 | 686.6 | 502.3 | 2.365 | 2.362 | 2.455 | 3.78 | 16.68 | 77.35 | 1320 | 2910.1 | 2921.1 | 0.988 | 0.978 | 2856.8 | 280 | 11.0 | 11.42 |
| 10 | 6.52 | 6.38 | 6.00 | 1193.5 | 1194.2 | 687.2 | 507.0 | 2.354 | | | | | | 1320 | 2910.1 | | 0.958 | | | 375 | 14.8 | |
| 11 | 6.38 | 6.38 | 6.00 | 1196.6 | 1197.8 | 693.2 | 504.6 | 2.371 | | | | | | 1285 | 2832.9 | | 0.993 | | | 390 | 15.4 | |
| 12 | 6.32 | 6.38 | 6.00 | 1180.0 | 1181.8 | 682.3 | 499.5 | 2.362 | 2.363 | 2.437 | 3.04 | 17.11 | 82.26 | 1220 | 2689.6 | 2810.9 | 1.008 | 0.986 | 2771.5 | 330 | 13.0 | 14.37 |
| 13 | 6.33 | 6.95 | 6.50 | 1194.0 | 1194.6 | 685.5 | 509.1 | 2.345 | | | | | | 1150 | 2535.3 | | 1.005 | | | 400 | 15.7 | |
| 14 | 6.44 | 6.95 | 6.50 | 1191.2 | 1191.9 | 686.6 | 505.3 | 2.357 | | | | | | 1115 | 2458.1 | | 0.978 | | | 390 | 15.4 | |
| 15 | 6.35 | 6.95 | 6.50 | 1197.5 | 1198.2 | 687.5 | 510.7 | 2.345 | 2.349 | 2.418 | 2.86 | 18.02 | 84.14 | 1186 | 2614.7 | 2536.0 | 1.000 | 0.994 | 2520.8 | 410 | 16.1 | 15.75 |
| 16 | 6.36 | 7.53 | 7.00 | 1176.5 | 1177.6 | 673.2 | 504.4 | 2.332 | | | | | | 1142 | 2517.7 | | 0.998 | | | 435 | 17.1 | |
| 17 | 6.45 | 7.53 | 7.00 | 1182.2 | 1183.5 | 680.2 | 503.3 | 2.349 | | | | | | 1045 | 2303.8 | | 0.975 | | | 410 | 16.1 | |
| 18 | 6.38 | 7.53 | 7.00 | 1189.0 | 1190.5 | 682.2 | 508.3 | 2.339 | 2.340 | 2.400 | 2.51 | 18.77 | 86.65 | 1088 | 2398.6 | 2406.7 | 0.993 | 0.988 | 2377.8 | 450 | 17.7 | 16.99 |
| | | | OBSERVACIONES | | | | | | | | 3.5 | ≥ 15 | 75.82 | | | | | | ≥ 1800 Lb. | | | 8-14 |

Fuente: Elaboración Propia

4.1.6.2. Gráficas de las Propiedades de la Mezcla Asfáltica

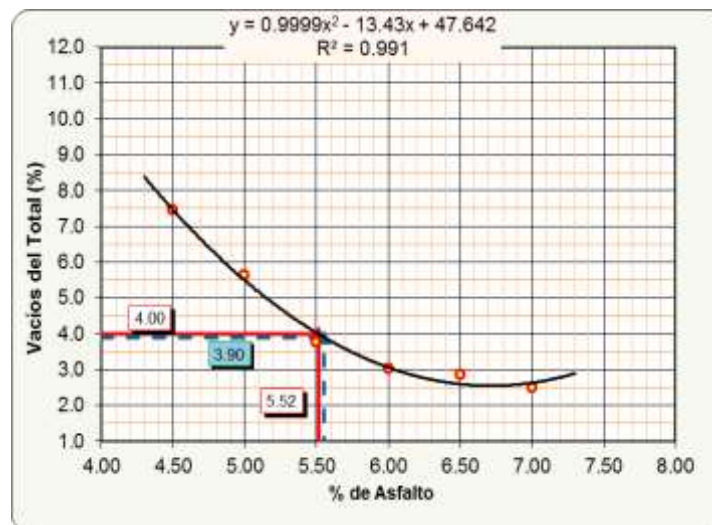
A continuación se muestran las gráficas de las curvas del diseño Marshall para determinar el % del cemento óptimo para la mezcla convencional.

Figura 17 Porcentaje de Asfalto vs. Densidad.



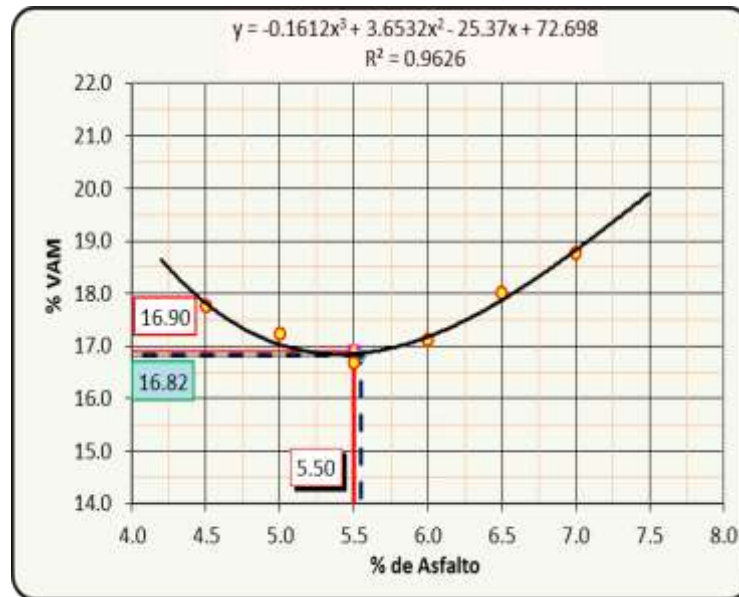
Fuente: Elaboración propia

Figura 18 Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos en aire



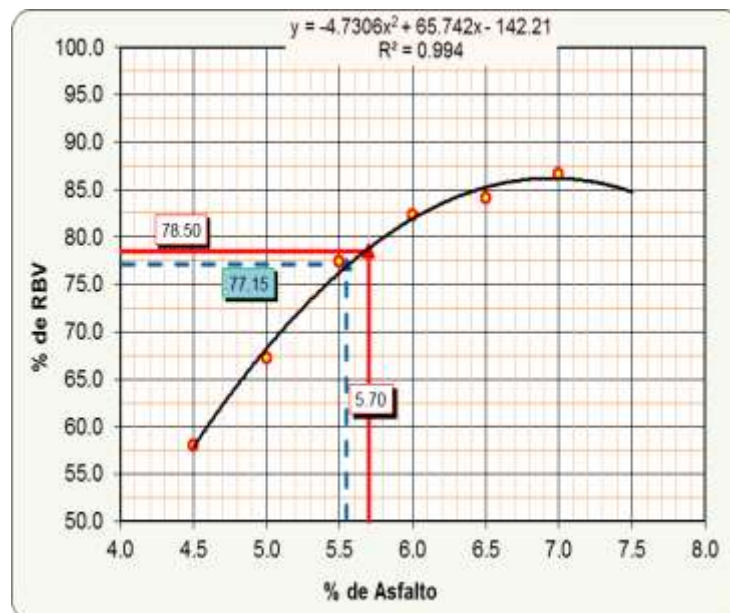
Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Porcentaje de Asfalto vs. % Vacíos de agregado mineral



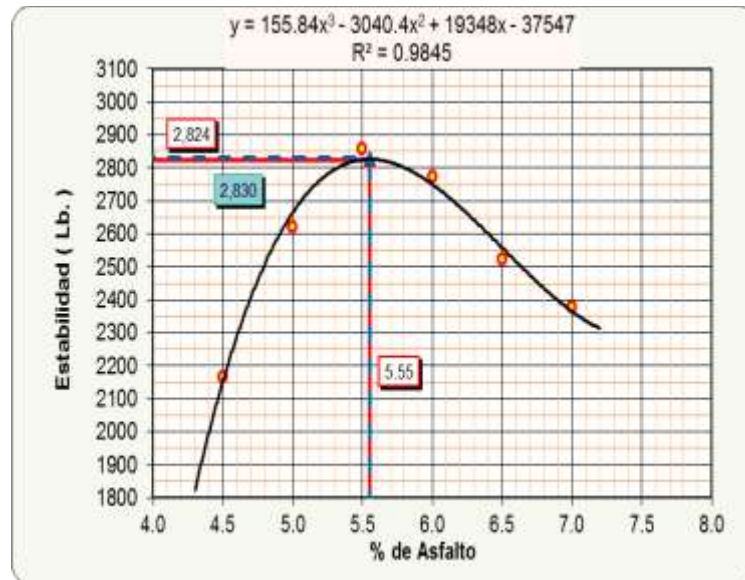
Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto



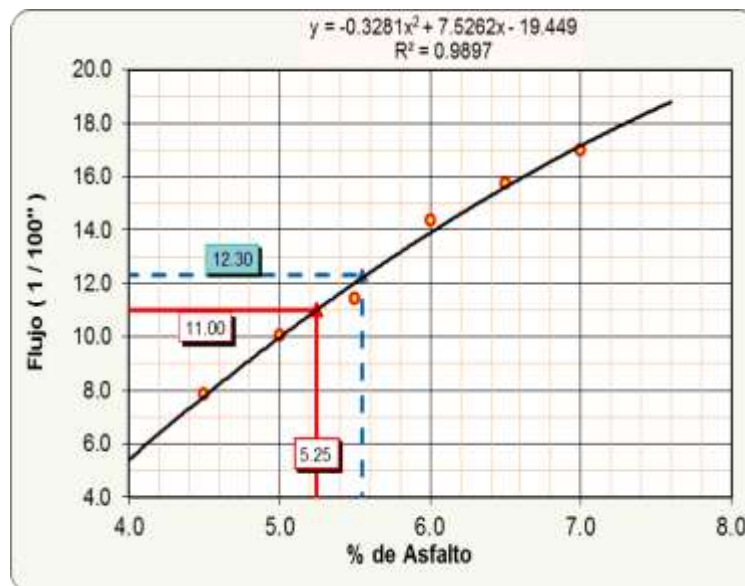
Fuente: Elaboración propia

Figura 21 Porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad corregida.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22 Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).



Fuente: Elaboración propia

De las gráficas de las propiedades de la mezcla respecto al porcentaje de asfalto, obtenemos los valores más óptimos para cada propiedad, como se muestra en la tabla:

Tabla 101 Resultados del ensayo MARSHALL.

| VALORES | | | | |
|------------------|--------------|---|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | OBTENIDOS DE GRÁFICOS | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5.90 | 2.362 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5.52 | 4.0 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5.70 | 78.5 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5.50 | 22.3 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5.55 | 2823.9 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5.25 | 11.0 | 8 | 14 |
| PROMEDIO (%) | 5.55 | Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Gráficas | | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO.

El promedio del % de asfalto de las propiedades % VAM, densidad, estabilidad, fluencia es el óptimo, con el mismo determinamos acuerdo a las gráficas el valor de sus propiedades correspondientes para diseño final.

Tabla 102 Resultados del ensayo MARSHALL

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5.55 | 2.359 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5.55 | 3.90 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5.55 | 77.15 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5.55 | 16.82 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5.55 | 2830 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5.55 | 12.30 | 8 | 14 |
| % ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 5.55 | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO

A continuación se muestra los porcentajes óptimos de cada componente para el diseño de la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 103 Diseño de la mezcla asfáltica optima convencional

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--|------------------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA 3/4 | 19 |
| | GRAVILLA 3/8 | 28 |
| | ARENA CHANCADA CON FILLER | 47 |
| | % ASFALTO ÓPTIMO | 6 |
| | TOTAL | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia

4.1.6.3. Estabilidad Marshall Remanente

Es la estabilidad Marshall que se obtiene al ensayar briquetas con los porcentajes óptimos de diseño, que previas al ensayo estuvieron sumergida en baño maría a 60 °C de temperatura durante 24 horas. Es la máxima tensión nominal, que es capaz de resistir una probeta

La estabilidad remanente debe ser mayor al 85 % de la estabilidad Marshall obtenida en el ensayo normalizado para que el diseño de la mezcla asfáltica sea válido para su posterior aplicación en los pavimentos.

La estabilidad remanente de la mezcla asfáltica convencional es 88,81% por lo que cumple con lo establecido.

A continuación se muestra la tabla de resultados del ensayo de estabilidad remanente para las briquetas.

Tabla 104 Resultados de la estabilidad remanente de la mezcla asfáltica convencional

| Peso Especifico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166) | | | | | | | | | | Peso Esp. Max. de Mezclas Compact.(AASHTO T-209) | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|--|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------|----------------------|-------------------|----------------------|----------------|-------------------|----------|----------|---|---|
| Nº Probeta | Altura de Probeta | % Asfalto | | Peso Probeta | | | Vol. | Densidad Probeta | | Densidad Máxima Teórica | % de Vacíos | | | | Estabilidad Marshall | | | Flujo | | | | | |
| | | Base mezcla | Base Agregado | Seco | Sat. Sup. Seca | Sumergida en Agua | Probeta | Densidad Real | Densidad Promedio | | Total | V.A.M. (Vacíos Agregados Mineral) | R.B.V. (Relación Betumen Vacíos) | LEC. DIAL | Carga | Factor corrección | Carga Real Corregida | Carga Promedio | En 1/100 pulgadas | promedio | | | |
| | | % | % | grs. | grs. | grs. | CC | Grs./cm3 | Grs./cm3 | | | | | | | | | | | | Grs./cm3 | % | % |
| 1 | 6.32 | 5.55 | 5.9 | 1180.2 | 1182.2 | 682.0 | 500.2 | 2.359 | | | | | | 1300 | 2866.0 | 1.01 | 2888.9 | | 0.13 | | | | |
| 2 | 6.25 | 5.55 | 5.9 | 1181.9 | 1182.6 | 682.5 | 500.1 | 2.363 | | | | | | 1232 | 2716.1 | 1.03 | 2789.4 | | 0.13 | | | | |
| 3 | 6.30 | 5.55 | 5.9 | 1178.5 | 1180.5 | 679.0 | 501.5 | 2.350 | 2.358 | 2.45 | 3.90 | 16.89 | 76.91 | 1220 | 2689.6 | 1.01 | 2724.6 | 2801.0 | 0.13 | 12.99 | | | |
| Ensayo Realizado a 24 Hrs. ESTABILIDAD REMANENTE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 6.35 | 5.55 | 5.9 | 1192.2 | 1193.2 | 688.9 | 504.3 | 2.364 | | | | | | 1152 | 2539.7 | 1.00 | 2539.7 | | 0.13 | | | | |
| 5 | 6.29 | 5.55 | 5.9 | 1186.5 | 1187.9 | 685.0 | 502.9 | 2.359 | | | | | | 1088 | 2398.6 | 1.02 | 2437.0 | | 0.13 | | | | |
| 6 | 6.38 | 5.55 | 5.9 | 1188.9 | 1190.0 | 685.0 | 505.0 | 2.354 | 2.359 | 2.45 | 3.83 | 16.83 | 77.22 | 1136 | 2504.4 | 0.99 | 2485.6 | 2487.4 | 0.12 | 12.66 | | | |
| OBSERVACIÓN: | | | | | | | | | | | | | Resistencia Remanente (%) | | | 88.81 | > | 85.00 | | | | | |
| Especificación | | Mínimo | | | | | | | | 3 | 15 | 75 | | | | 1800 | | | 8 | | | | |
| | | Máximo | | | | | | | | 5 | | 82 | | | | | | | 14 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

4.2. Diseño de la Dosificación de la Mezcla Asfáltica con Ceniza de Celulosa (ceniza de bagazo de la caña de azúcar) como Filler.

4.2.1 Formula de Trabajo

Con los resultados de la distribución granulométrica de los agregados utilizados, se usara para el diseño la gradación y formula de trabajo de la faja “C” al igual que en la mezcla convencional para así poder realizar el desarrollo de la hipótesis del estudio.

4.2.2. Combinación de Agregados

El filler juega un factor importante en el diseño de mezclas asfálticas, se incorpora a la mezcla con el fin de aumentar la estabilidad, y disminuir el porcentaje de asfalto necesario para obtener un determinado porcentaje de vacíos en la mezcla. La calidad del agregado está condicionada al cumplimiento de un conjunto de especificaciones entre las que se encuentra el % de vacíos, el % de vacíos rellenados de asfalto, la estabilidad, la fluencia, densidad y % de vacíos del agregado mineral. Y todas están íntimamente relacionadas con la granulometría de los agregados componentes. Para el diseño de la dosificación se utilizará al igual que en la mezcla convencional la gradación de la faja “C”, para así examinar, analizar con detenimiento como afecta en el comportamiento cuando se cambia el filler convencional con ceniza de celulosa.

Se puede ver en la tabla 89 citada al comienzo del capítulo las especificaciones para la granulometría de la faja “C”.

Se separó el Filler Natural de la arena chancada, para poder adicionar los porcentajes de Filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar con los siguientes porcentajes: 3%, 5% y 7% parámetros que están dentro de lo que indica la norma para la granulometría de la faja de diseño. El procedimiento para separar el Filler natural se realizó por el método de lavado a través del tamiz N° 200 (AASHTO T11-96, ASTM E 117).

El procedimiento y la descripción de la práctica de separación del filler de la arena chancada se verá en el ANEXO 1.

Se muestra la granulometría de la arena chancada ya sin filler y del filler de ceniza.

Tabla 105 Granulometría de la arena sin filler

| ARENA TRITURADA SIN FILLER | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |
| | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 40 | Nº 80 | Nº 200 |
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 68 | 50 | 21.60 | 7.60 | 0.50 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 89 | 67 | 50 | 22.40 | 9.00 | 1.50 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 67 | 49 | 22.00 | 10.00 | 0.90 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo | 100 | 100 | 100 | 100 | 89 | 68 | 50 | 22.40 | 10.00 | 1.50 |
| Valor mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 67 | 49 | 21.60 | 7.60 | 0.50 |
| Valor promedio | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 67 | 49 | 22.00 | 8.87 | 0.97 |
| Desviación Estándar | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.40 | 1.21 | 0.50 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 106 Granulometría del filler de ceniza de bagazo

| FILLER DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN | % Que pasa por tamiz | | | | | | | | | |
| | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 40 | Nº 80 | Nº 200 |
| GRANULOMETRÍA 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 95.00 | 58.27 | 26.33 |
| GRANULOMETRÍA 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 95.27 | 57.93 | 26.60 |
| GRANULOMETRÍA 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 93.93 | 58.83 | 27.17 |
| RESUMEN ESTADÍSTICO | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 95.27 | 58.83 | 27.17 |
| Valor mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 93.93 | 57.93 | 26.33 |
| Valor promedio | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 94.73 | 58.34 | 26.70 |
| Desviación Estándar | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.71 | 0.46 | 0.43 |

Fuente: Elaboración propia

Se realizarán tres diseños, cada uno con diferente contenido de porcentajes de grava 3/4, gravilla 3/8 y arena lavada, la adición de filler de ceniza de bagazo será de 3% para la primera combinación, 5% para la segunda combinación y finalmente 7%. Estos valores están dentro de los rangos de acuerdo a la faja C, que establece como mínimo tres por ciento de filler y como valor máximo siete por ciento de filler.

El filler tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas, ya que hace que la mezcla sea más trabajable y durable al envolver a los áridos gruesos, evitando su segregación y rellena los vacíos del esqueleto de los agregados gruesos y finos impermeabilizando la mezcla reduciendo los daños producidos por el agua. Proporciona puntos de contacto entre agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto.

Para la combinación de agregados el filler consideramos al porcentaje de material que pasa el tamiz N°200, de acuerdo a la granulometría de la ceniza de bagazo determinada en el capítulo 3, para establecer el contenido de filler para los diseños planteados en el estudio se adicionará:

- 10 % de ceniza de bagazo para que la mezcla tenga 3% de filler.
- 18 % de ceniza de bagazo para que la mezcla tenga 5% de filler.
- 26 % de ceniza de bagazo para que la mezcla tenga 6% de filler.

Las cantidades de grava, gravilla, arena lavada se establecerán aplicando el “Método de los tanteos”, optando por los porcentajes de cada material que como un solo elemento al combinarse sea el que cumpla con la curva granulométrica de diseño.

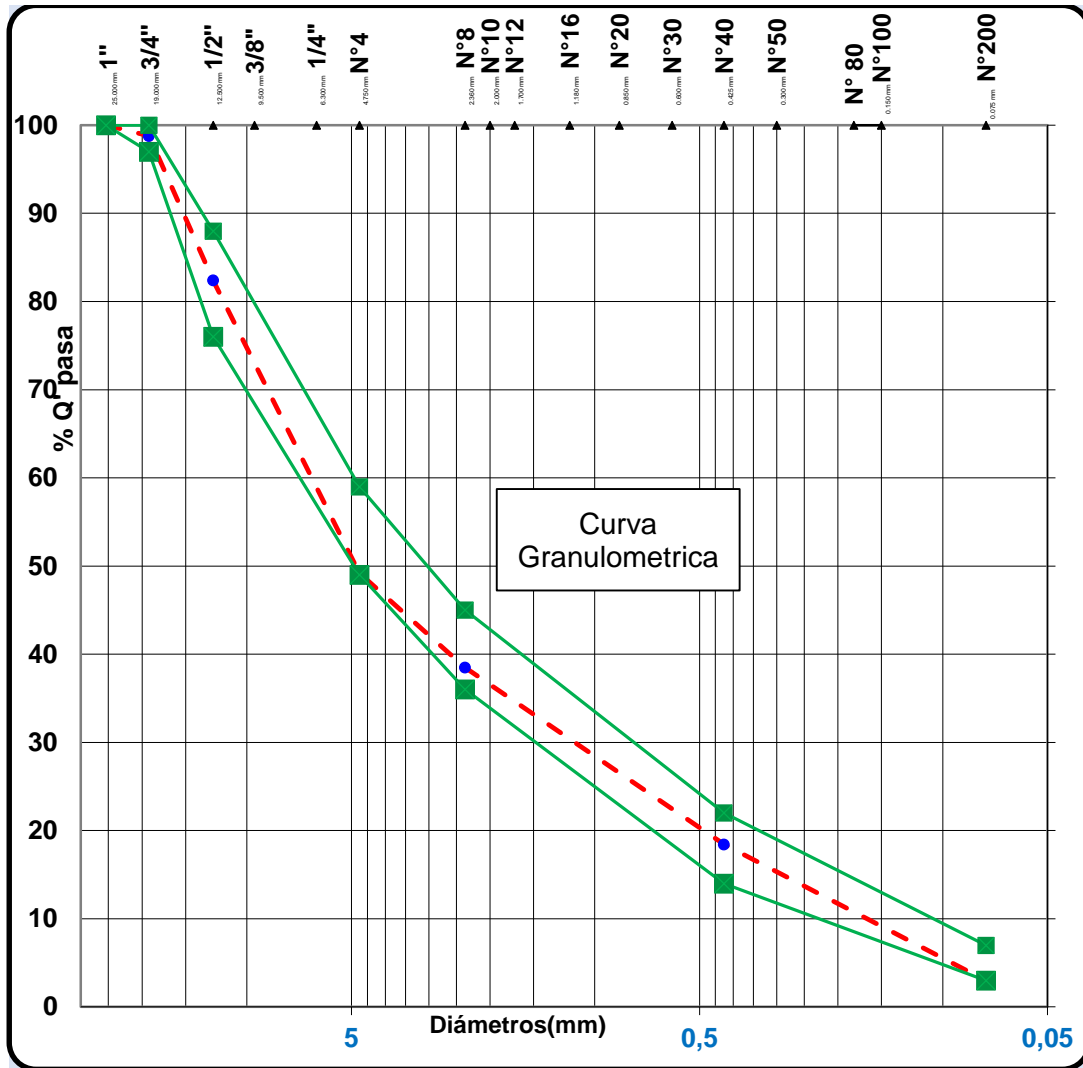
En la siguiente tabla se muestra la planilla de granulometría proyectada con los porcentajes de grava, gravilla, arena lavada y filler establecidos para el diseño de la mezcla asfáltica.

Tabla 107 Dosificación con el 3 % de filler de ceniza para obtener el porcentaje óptimo de Cemento asfáltico.

| AGREGADO | | Grava 3/4 | | Gravilla 3/8 | | Arena Lavada | | Filler - Ceniza de Bagazo | | % QUE PASA | FAJA | | TOLERANCIAS (+/-) | FAJA | |
|----------|-------|-----------|--------|--------------|--------|--------------|--------|---------------------------|--------|------------|------------------|----------------------|-------------------|------|------|
| % USADO | | 18% | | 30% | | 42% | | 10% | | | CURVA DE TRABAJO | ESPECIF. GRAD. MEDIA | | | |
| TAMICES | | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | | | | | INF. | SUP. |
| PULG | mm. | | | | | | | | | | | | | | |
| 1" | 25.40 | 100.0 | 18.0 | 100.0 | 30.0 | 100.0 | 42.4 | 100.0 | 9.6 | 100.0 | 100 | 100 | 0% | 100 | 100 |
| 3/4" | 19.10 | 93.2 | 16.8 | 100.0 | 30.0 | 100.0 | 42.4 | 100.0 | 9.6 | 98.8 | 97 | 100 | 0% | 97 | 100 |
| 1/2" | 12.50 | 6.6 | 1.2 | 97.4 | 29.2 | 100.0 | 42.4 | 100.0 | 9.6 | 82.4 | 77 | 87 | 5% | 76 | 88 |
| 3/8" | 9.50 | 0.8 | 0.1 | 92.1 | 27.6 | 100.0 | 42.4 | 100.0 | 9.6 | 79.8 | | | | | |
| #4 | 4.75 | 0.4 | 0.1 | 6.9 | 2.1 | 88.3 | 37.4 | 100.0 | 9.6 | 49.2 | 42 | 56 | 7% | 49 | 59 |
| #8 | 2.360 | 0.2 | 0.0 | 1.1 | 0.3 | 67.3 | 28.5 | 100.0 | 9.6 | 38.5 | 34 | 44 | 5% | 36 | 45 |
| #16 | 1.180 | 0.2 | 0.0 | 0.8 | 0.2 | 58.8 | 24.9 | 100.0 | 9.6 | 34.8 | | | | | |
| #40 | 0.425 | 0.1 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 22.0 | 9.3 | 93.9 | 9.0 | 18.5 | 15 | 21 | 3% | 14 | 22 |
| #80 | 0.180 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 8.9 | 3.8 | 57.9 | 5.6 | 9.4 | | | | | |
| #200 | 0.075 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 1.0 | 0.4 | 26.3 | 2.5 | 3.0 | 1 | 5 | 2% | 3 | 7 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Faja C de trabajo para la dosificación con 3% de filler de ceniza



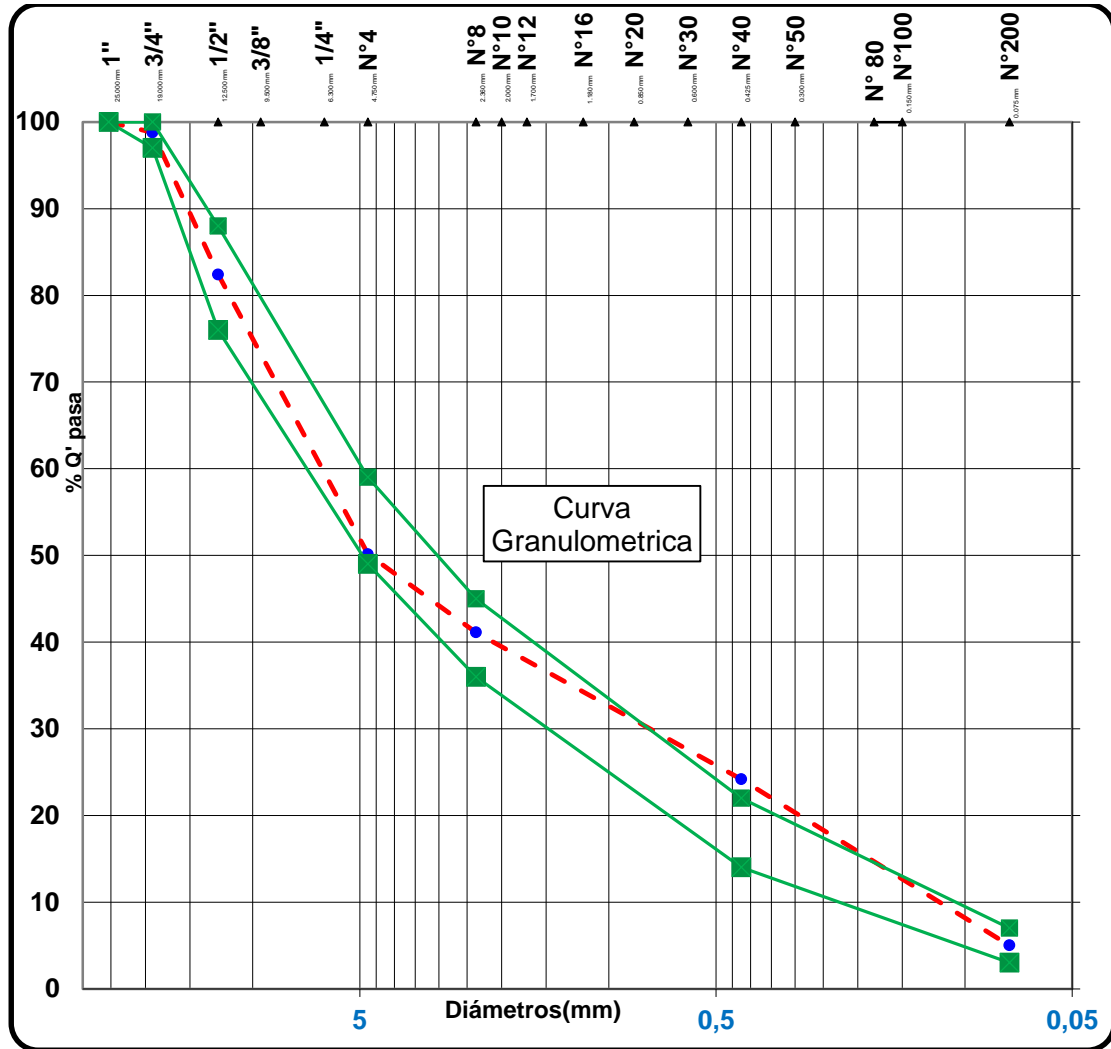
Fuente: Elaboración propia

Tabla 108 Dosificación con el 5 % de filler de ceniza para obtener el porcentaje óptimo de Cemento asfáltico

| AGREGADO | | Grava 3/4 | | Gravilla 3/8 | | Arena Lavada | | Filler - Ceniza de Bagazo | | % QUE PASA | FAJA | | TOLERANCIAS (+/-) | FAJA | |
|----------|-------|-----------|--------|--------------|--------|--------------|--------|---------------------------|--------|------------|------------------|----------------------|-------------------|------|------|
| % USADO | | 18% | | 30% | | 34% | | 18% | | | CURVA DE TRABAJO | ESPECIF. GRAD. MEDIA | | | |
| TAMICES | | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | | | | | INF. | SUP. |
| PULG | mm. | | | | | | | | | | | | | | |
| 1" | 25.40 | 100.0 | 18.0 | 100.0 | 30.0 | 100.0 | 34.4 | 100.0 | 17.6 | 100.0 | 100 | 100 | 0% | 100 | 100 |
| 3/4" | 19.10 | 93.2 | 16.8 | 100.0 | 30.0 | 100.0 | 34.4 | 100.0 | 17.6 | 98.8 | 97 | 100 | 0% | 97 | 100 |
| 1/2" | 12.50 | 6.6 | 1.2 | 97.4 | 29.2 | 100.0 | 34.4 | 100.0 | 17.6 | 82.4 | 77 | 87 | 5% | 76 | 88 |
| 3/8" | 9.50 | 0.8 | 0.1 | 92.1 | 27.6 | 100.0 | 34.4 | 100.0 | 17.6 | 79.8 | | | | | |
| #4 | 4.75 | 0.4 | 0.1 | 6.9 | 2.1 | 88.3 | 30.4 | 100.0 | 17.6 | 50.1 | 43 | 57 | 7% | 49 | 59 |
| #8 | 2.360 | 0.2 | 0.0 | 1.1 | 0.3 | 67.3 | 23.2 | 100.0 | 17.6 | 41.1 | 36 | 46 | 5% | 36 | 45 |
| #16 | 1.180 | 0.2 | 0.0 | 0.8 | 0.2 | 58.8 | 20.2 | 100.0 | 17.6 | 38.1 | | | | | |
| #40 | 0.425 | 0.1 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 22.0 | 7.6 | 93.9 | 16.5 | 24.2 | 21 | 27 | 3% | 14 | 22 |
| #80 | 0.180 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 8.9 | 3.0 | 57.9 | 10.2 | 13.3 | | | | | |
| #200 | 0.075 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 1.0 | 0.3 | 26.3 | 4.6 | 5.0 | 3 | 7 | 2% | 3 | 7 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Faja C de trabajo para la dosificación con 5% de filler de ceniza



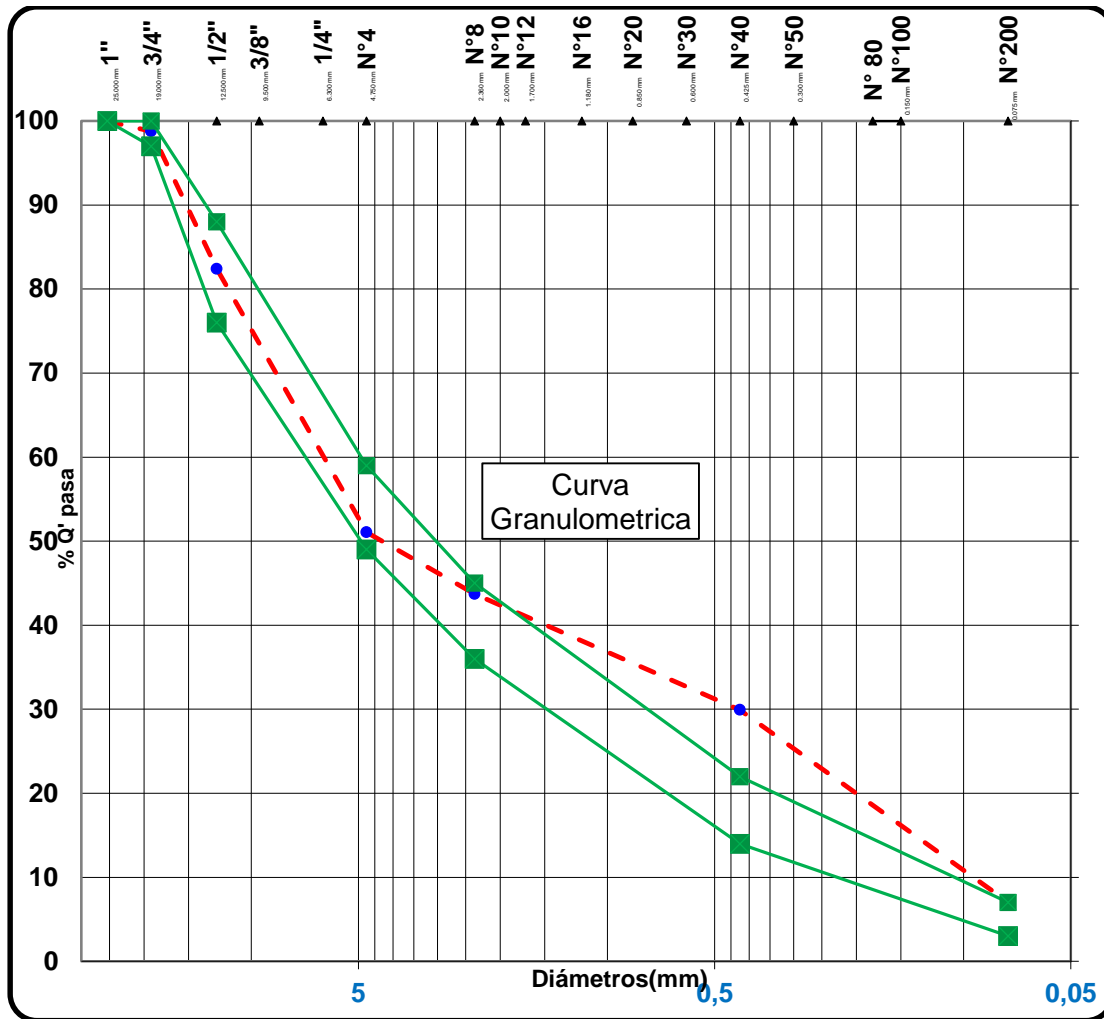
Fuente: Elaboración propia

Tabla 109 Dosificación con el 7 % de filler de ceniza para obtener el porcentaje óptimo de Cemento asfáltico

| AGREGADO | | Grava 3/4 | | Gravilla 3/8 | | Arena Lavada | | Filler - Ceniza de Bagazo | | % QUE PASA | FAJA | | TOLERANCIAS (+/-) | FAJA | |
|----------|-------|-----------|--------|--------------|--------|--------------|--------|---------------------------|--------|------------|------------------|----------------------|-------------------|------|------|
| % USADO | | 18% | | 30% | | 26% | | 26% | | | CURVA DE TRABAJO | ESPECIF. GRAD. MEDIA | | | |
| TAMICES | | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | % TOTAL | % ENC. | | | | | INF. | SUP. |
| PULG | mm. | | | | | | | | | INF. | SUP. | | | | |
| 1" | 25.40 | 100.0 | 18.0 | 100.0 | 30.1 | 100.0 | 26.4 | 100.0 | 25.5 | 100.0 | 100 | 100 | 0% | 100 | 100 |
| 3/4" | 19.10 | 93.2 | 16.8 | 100.0 | 30.1 | 100.0 | 26.4 | 100.0 | 25.5 | 98.8 | 97 | 100 | 0% | 97 | 100 |
| 1/2" | 12.50 | 6.6 | 1.2 | 97.4 | 29.3 | 100.0 | 26.4 | 100.0 | 25.5 | 82.4 | 77 | 87 | 5% | 76 | 88 |
| 3/8" | 9.50 | 0.8 | 0.1 | 92.1 | 27.7 | 100.0 | 26.4 | 100.0 | 25.5 | 79.8 | | | | | |
| #4 | 4.75 | 0.4 | 0.1 | 6.9 | 2.1 | 88.3 | 23.3 | 100.0 | 25.5 | 51.0 | 44 | 58 | 7% | 49 | 59 |
| #8 | 2.360 | 0.2 | 0.0 | 1.1 | 0.3 | 67.3 | 17.8 | 100.0 | 25.5 | 43.7 | 39 | 49 | 5% | 36 | 45 |
| #16 | 1.180 | 0.2 | 0.0 | 0.8 | 0.2 | 58.8 | 15.5 | 100.0 | 25.5 | 41.3 | | | | | |
| #40 | 0.425 | 0.1 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 22.0 | 5.8 | 93.9 | 24.0 | 29.9 | 27 | 33 | 3% | 14 | 22 |
| #80 | 0.180 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 8.9 | 2.3 | 57.9 | 14.8 | 17.2 | | | | | |
| #200 | 0.075 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 1.0 | 0.3 | 26.3 | 6.7 | 7.0 | 5 | 9 | 2% | 3 | 7 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Faja C de trabajo para la dosificación con 7% de filler de celulosa



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Determinación del Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico 85-100

Al igual que en el diseño de la mezcla asfáltica convencional se realizaran 18 briquetas, los porcentajes de asfalto serán 4.5 % que es el valor mínimo de acuerdo a la faja de diseño, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7 % por porcentaje se elaboró 3 briquetas para determinar luego de un análisis la dosificación óptima.

Tabla 110 Dosificación de diseño Marshall con el 3 % de filler de ceniza de bagazo

| TAMIZ | %Pasa | %Retenido | %Ret. Tamiz | 4.50% | | 5.0% | | 5.5% | | 6.0% | | 6.5% | | 7.0% | |
|--------|-------|-----------|--------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado |
| | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1" | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3/4" | 98.8 | 1.2 | 1.2 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 13.9 | 13.9 | 13.8 | 13.8 | 13.7 | 13.7 | 13.7 | 13.7 |
| 1/2" | 82.4 | 17.6 | 16.4 | 187.7 | 201.7 | 186.7 | 200.6 | 185.7 | 199.6 | 184.7 | 198.5 | 183.7 | 197.5 | 182.8 | 196.4 |
| 3/8" | 79.8 | 20.2 | 2.6 | 30.2 | 231.9 | 30.1 | 230.7 | 29.9 | 229.5 | 29.7 | 228.3 | 29.6 | 227.1 | 29.4 | 225.8 |
| Nº4 | 49.2 | 50.8 | 30.6 | 350.2 | 582.1 | 348.4 | 579.1 | 346.6 | 576.0 | 344.7 | 573.0 | 342.9 | 569.9 | 341.1 | 566.9 |
| Nº10 | 38.5 | 61.5 | 10.7 | 122.4 | 704.5 | 121.7 | 700.8 | 121.1 | 697.1 | 120.5 | 693.5 | 119.8 | 689.8 | 119.2 | 686.1 |
| Nº16 | 34.8 | 65.2 | 3.7 | 42.7 | 747.2 | 42.4 | 743.3 | 42.2 | 739.4 | 42.0 | 735.5 | 41.8 | 731.5 | 41.6 | 727.6 |
| Nº40 | 18.5 | 81.5 | 16.3 | 186.9 | 934.1 | 185.9 | 929.2 | 184.9 | 924.3 | 184.0 | 919.4 | 183.0 | 914.5 | 182.0 | 909.6 |
| Nº80 | 9.4 | 90.6 | 9.1 | 104.0 | 1038.1 | 103.4 | 1032.6 | 102.9 | 1027.2 | 102.4 | 1021.8 | 101.8 | 1016.3 | 101.3 | 1010.9 |
| Nº200 | 3.0 | 97.0 | 6.4 | 73.6 | 1111.7 | 73.2 | 1105.9 | 72.8 | 1100.1 | 72.5 | 1094.2 | 72.1 | 1088.4 | 71.7 | 1082.6 |
| Filler | 0 | 100.0 | 3.0 | 34.3 | 1146.0 | 34.1 | 1140.0 | 33.9 | 1134.0 | 33.8 | 1128.0 | 33.6 | 1122.0 | 33.4 | 1116.0 |
| | | | Peso Total= | 1146.0 | | 1140.0 | | 1134.0 | | 1128.0 | | 1122.0 | | 1116.0 | |

| | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Peso Muestra= | 1146.0 | 1140.0 | 1134.0 | 1128.0 | 1122.0 | 1116.0 |
| Peso Asfalto= | 54.0 | 60.0 | 66.0 | 72.0 | 78.0 | 84.0 |
| Peso Total Material + C. Asf.= | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 111 Dosificación de diseño Marshall con el 5 % de filler de ceniza de bagazo

| TAMIZ | %Pasa | %Retenido | %Ret. Tamiz | 4.50% | | 5.0% | | 5.5% | | 6.0% | | 6.5% | | 7.0% | |
|--------|-------|-----------|---------------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado |
| | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1" | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3/4" | 98.8 | 1.2 | 1.2 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 13.9 | 13.9 | 13.8 | 13.8 | 13.7 | 13.7 | 13.7 | 13.7 |
| 1/2" | 82.4 | 17.6 | 16.4 | 187.7 | 201.7 | 186.7 | 200.6 | 185.7 | 199.6 | 184.7 | 198.5 | 183.7 | 197.5 | 182.8 | 196.4 |
| 3/8" | 79.8 | 20.2 | 2.6 | 30.2 | 231.9 | 30.1 | 230.7 | 29.9 | 229.5 | 29.7 | 228.3 | 29.6 | 227.1 | 29.4 | 225.8 |
| Nº4 | 50.1 | 49.9 | 29.6 | 339.5 | 571.4 | 337.7 | 568.4 | 336.0 | 565.4 | 334.2 | 562.4 | 332.4 | 559.5 | 330.6 | 556.5 |
| Nº10 | 41.1 | 58.9 | 9.0 | 103.1 | 674.6 | 102.6 | 671.0 | 102.1 | 667.5 | 101.5 | 664.0 | 101.0 | 660.4 | 100.4 | 656.9 |
| Nº16 | 38.1 | 61.9 | 3.0 | 34.8 | 709.4 | 34.6 | 705.7 | 34.5 | 702.0 | 34.3 | 698.3 | 34.1 | 694.5 | 33.9 | 690.8 |
| Nº40 | 24.2 | 75.8 | 13.8 | 158.7 | 868.1 | 157.9 | 863.6 | 157.1 | 859.0 | 156.2 | 854.5 | 155.4 | 849.9 | 154.6 | 845.4 |
| Nº80 | 13.3 | 86.7 | 10.9 | 125.0 | 993.1 | 124.3 | 987.9 | 123.6 | 982.7 | 123.0 | 977.5 | 122.3 | 972.3 | 121.7 | 967.1 |
| Nº200 | 5.0 | 95.0 | 8.3 | 95.4 | 1088.4 | 94.9 | 1082.7 | 94.4 | 1077.0 | 93.9 | 1071.3 | 93.4 | 1065.6 | 92.9 | 1059.9 |
| Filler | 0 | 100.0 | 5.0 | 57.6 | 1146.0 | 57.3 | 1140.0 | 57.0 | 1134.0 | 56.7 | 1128.0 | 56.4 | 1122.0 | 56.1 | 1116.0 |
| | | | Peso Total= | 1146.0 | | 1140.0 | | 1134.0 | | 1128.0 | | 1122.0 | | 1116.0 | |
| | | | Peso Muestra= | 1146.0 | | 1140.0 | | 1134.0 | | 1128.0 | | 1122.0 | | 1116.0 | |
| | | | Peso Asfalto= | 54.0 | | 60.0 | | 66.0 | | 72.0 | | 78.0 | | 84.0 | |
| | | | Peso Total Material + C. Asf.= | 1200.0 | | 1200.0 | | 1200.0 | | 1200.0 | | 1200.0 | | 1200.0 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 112 Dosificación de diseño Marshall con el 7 % de filler de ceniza de bagazo

| TAMIZ | %Pasa | % Retenido | %Ret. Tamiz | 4.50% | | 5.0% | | 5.5% | | 6.0% | | 6.5% | | 7.0% | |
|--------|-------|------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado | P. Parcial | P. Acumulado |
| | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1" | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3/4" | 98.8 | 1.2 | 1.2 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 13.9 | 13.9 | 13.8 | 13.8 | 13.7 | 13.7 | 13.7 | 13.7 |
| 1/2" | 82.4 | 17.6 | 16.4 | 187.7 | 201.7 | 186.7 | 200.7 | 185.7 | 199.6 | 184.7 | 198.6 | 183.8 | 197.5 | 182.8 | 196.4 |
| 3/8" | 79.8 | 20.2 | 2.6 | 30.3 | 232.0 | 30.1 | 230.8 | 30.0 | 229.6 | 29.8 | 228.4 | 29.6 | 227.1 | 29.5 | 225.9 |
| Nº4 | 51.0 | 49.0 | 28.8 | 329.8 | 561.8 | 328.1 | 558.8 | 326.3 | 555.9 | 324.6 | 553.0 | 322.9 | 550.0 | 321.1 | 547.1 |
| Nº10 | 43.7 | 56.3 | 7.3 | 84.0 | 645.8 | 83.5 | 642.4 | 83.1 | 639.0 | 82.7 | 635.6 | 82.2 | 632.2 | 81.8 | 628.9 |
| Nº16 | 41.3 | 58.7 | 2.4 | 27.0 | 672.8 | 26.9 | 669.2 | 26.7 | 665.7 | 26.6 | 662.2 | 26.4 | 658.7 | 26.3 | 655.1 |
| Nº40 | 29.9 | 70.1 | 11.4 | 130.5 | 803.2 | 129.8 | 799.0 | 129.1 | 794.8 | 128.4 | 790.6 | 127.7 | 786.4 | 127.1 | 782.2 |
| Nº80 | 17.2 | 82.8 | 12.7 | 145.5 | 948.7 | 144.7 | 943.8 | 144.0 | 938.8 | 143.2 | 933.8 | 142.5 | 928.9 | 141.7 | 923.9 |
| Nº200 | 7.0 | 93.0 | 10.2 | 116.7 | 1065.5 | 116.1 | 1059.9 | 115.5 | 1054.3 | 114.9 | 1048.7 | 114.3 | 1043.2 | 113.7 | 1037.6 |
| Filler | 0 | 100.0 | 7.0 | 80.5 | 1146.0 | 80.1 | 1140.0 | 79.7 | 1134.0 | 79.3 | 1128.0 | 78.8 | 1122.0 | 78.4 | 1116.0 |
| | | | Peso Total= | 1146.0 | | 1140.0 | | 1134.0 | | 1128.0 | | 1122.0 | | 1116.0 | |

| | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Peso Muestra= | 1146.0 | 1140.0 | 1134.0 | 1128.0 | 1122.0 | 1116.0 |
| Peso Asfalto= | 54.0 | 60.0 | 66.0 | 72.0 | 78.0 | 84.0 |
| Peso Total Material + C. Asf.= | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 | 1200.0 |

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Determinación de la temperatura de Mezcla y Compactación

Como se utilizará para todo el estudio de investigación el mismo cemento asfáltico, la temperatura óptima de mezclado de los agregados con el cemento asfáltico y la de compactado de la mezcla va ser la misma que usamos en el diseño de la mezcla convencional citado en el punto **4.1.4** la que se determinó con el ensayo de viscosidad saybolt-furol.

4.2.5. Elaboración de las Briquetas

Se seguirá el mismo procedimiento realizado en el punto **4.1.5** para la elaboración de las briquetas para la mezcla convencional, de igual forma se harán 18 briquetas por cada combinación de filler, en total serán 54 como mínimo con las que se determinará sus propiedades y el diseño óptimo que será el que presente mejor comportamiento mecánico.

4.2.6. Ensayo de Estabilidad y Fluencia

El ensayo debe efectuarse después de transcurridas 16 horas de la compactación. Se realizará el mismo procedimiento que se hizo en el punto **4.1.6** con las mezclas asfálticas convencionales, observando a detalle cómo se comporta la mezcla asfáltica cuando se adiciona diferentes porcentajes de filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar como filler determinando sus ventajas y desventajas de aplicación del nuevo material.

4.2.6.1. Cálculos para el Desarrollo de la Planilla de Resultados de las Propiedades de la Mezcla como Variables de Estudio

Se realizar el mismo procedimiento realizado en el punto **4.1.6.1** con la mezcla asfáltica convencional, para así poder diagramar las curvas correspondientes a las relaciones de sus propiedades de estudio determinando el contenido óptimo de cemento asfalto y filler de ceniza de bagazo. A continuación se muestra el cuadro de resultados

Tabla 113 Resultados de los cálculos de las propiedades de la mezcla con 3% de filler

| IDENTIFICACION | ALTURA BRIQUETA (CM) | % DE ASFALTO | | PESO BRIQUETA EN EL AIRE | PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. | PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA | VOLUMEN BRIQUETA | DENSIDAD BRIQUETA | | | % Vacíos | | | ESTABILIDAD (Lb) | | | | | FLUENCIA (PULG) | | | |
|----------------|------------------------|---------------|-------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------|----------|-----------|-------------------|------------------|--------|--------|---------------------------------|------------|-----------------|------------|-------------|-------|
| | | BASE AGREGADO | BASE MEZCLA | | | | | REAL (Dr.) | PROMEDIO (Dm.) | MAXIMA TEORICA | MEZCLA | AGREGADOS | LLENOS DE ASFALTO | LECT. DIAL | REAL | MEDIA | FACTOR DE CORRECCION (ALTURA) | MEDIA f.c. | CORREGIDA | LECT. DIAL | FLUJO 1/100 | MEDIA |
| | | a | b | (gr) | (gr) | (gr) | (cm3) | (kg/cm3) | (kg/cm3) | (kg/cm3) | (Vv) | (VAM) | (RBV) | mm | | | | p | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 6.67 | 4.71 | 4.50 | 1161.6 | 1172.5 | 643.5 | 529.0 | 2.196 | | | | | | 568 | 1252.2 | | 0.930 | | | 230 | 9.1 | |
| 2 | 6.72 | 4.71 | 4.50 | 1197.2 | 1200.6 | 659.5 | 541.1 | 2.213 | | | | | | 678 | 1494.7 | | 0.918 | | | 240 | 9.4 | |
| 3 | 6.65 | 4.71 | 4.50 | 1190.2 | 1192.9 | 660.2 | 532.7 | 2.234 | 2.214 | 2.432 | 8.97 | 18.86 | 52.46 | 568 | 1252.2 | 1333.0 | 0.934 | 0.927 | 1235.7 | 200 | 7.9 | 8.79 |
| 4 | 6.58 | 5.26 | 5.00 | 1182.8 | 1189.3 | 660.2 | 529.1 | 2.235 | | | | | | 780 | 1719.6 | | 0.947 | | | 225 | 8.9 | |
| 5 | 6.81 | 5.26 | 5.00 | 1191.5 | 1195.5 | 662.1 | 533.4 | 2.234 | | | | | | 820 | 1807.8 | | 0.895 | | | 245 | 9.6 | |
| 6 | 6.60 | 5.26 | 5.00 | 1190.1 | 1194.2 | 665.0 | 529.2 | 2.249 | 2.239 | 2.414 | 7.25 | 18.37 | 60.53 | 768 | 1693.1 | 1740.2 | 0.943 | 0.928 | 1614.9 | 250 | 9.8 | 9.45 |
| 7 | 6.75 | 5.82 | 5.50 | 1196.9 | 1203.0 | 675.0 | 528.0 | 2.267 | | | | | | 955 | 2105.4 | | 0.910 | | | 260 | 10.2 | |
| 8 | 6.57 | 5.82 | 5.50 | 1192.2 | 1196.8 | 673.0 | 523.8 | 2.276 | | | | | | 875 | 1929.0 | | 0.949 | | | 300 | 11.8 | |
| 9 | 6.60 | 5.82 | 5.50 | 1175.5 | 1178.5 | 659.2 | 519.3 | 2.264 | 2.269 | 2.397 | 5.34 | 17.73 | 69.89 | 920 | 2028.2 | 2020.9 | 0.943 | 0.934 | 1887.5 | 305 | 12.0 | 11.35 |
| 10 | 6.55 | 6.38 | 6.00 | 1192.3 | 1194.6 | 670.0 | 524.6 | 2.273 | | | | | | 925 | 2039.3 | | 0.953 | | | 320 | 12.6 | |
| 11 | 6.60 | 6.38 | 6.00 | 1188.2 | 1192.2 | 670.0 | 522.2 | 2.275 | | | | | | 860 | 1896.0 | | 0.943 | | | 330 | 13.0 | |
| 12 | 6.62 | 6.38 | 6.00 | 1192.3 | 1195.0 | 668.2 | 526.8 | 2.263 | 2.270 | 2.379 | 4.58 | 18.11 | 74.71 | 900 | 1984.1 | 1973.1 | 0.939 | 0.945 | 1864.6 | 300 | 11.8 | 12.47 |
| 13 | 6.56 | 6.95 | 6.50 | 1186.0 | 1188.0 | 660.2 | 527.8 | 2.247 | | | | | | 820 | 1807.8 | | 0.951 | | | 365 | 14.4 | |
| 14 | 6.52 | 6.95 | 6.50 | 1190.0 | 1193.5 | 668.5 | 525.0 | 2.267 | | | | | | 870 | 1918.0 | | 0.958 | | | 370 | 14.6 | |
| 15 | 6.50 | 6.95 | 6.50 | 1192.3 | 1194.5 | 665.5 | 529.0 | 2.254 | 2.256 | 2.362 | 4.51 | 19.07 | 76.37 | 780 | 1719.6 | 1815.1 | 0.963 | 0.957 | 1737.1 | 340 | 13.4 | 14.11 |
| 16 | 6.56 | 7.53 | 7.00 | 1187.5 | 1192.2 | 660.2 | 532.0 | 2.232 | | | | | | 725 | 1598.3 | | 0.951 | | | 405 | 15.9 | |
| 17 | 6.50 | 7.53 | 7.00 | 1188.0 | 1191.2 | 663.2 | 528.0 | 2.250 | | | | | | 700 | 1543.2 | | 0.963 | | | 360 | 14.2 | |
| 18 | 6.49 | 7.53 | 7.00 | 1192.2 | 1194.5 | 665.5 | 529.0 | 2.254 | 2.245 | 2.345 | 4.27 | 19.88 | 78.51 | 780 | 1719.6 | 1620.4 | 0.965 | 0.959 | 1553.9 | 380 | 15.0 | 15.03 |

OBSERVACIONES

ESPECIFICACIONES

3 - 5 ≥ 15 75 - 82

≥ 1800 Lb.

8 - 14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 114 Resultados de los cálculos de las propiedades de la mezcla con 5% de filler

| IDENTIFICACION | ALTURA BRIQUETA (CM) | % DE ASFALTO | | PESO BRIQUETA EN EL AIRE (gr) | PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. (gr) | PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA (gr) | VOLUMEN BRIQUETA (cm3) | DENSIDAD BRIQUETA | | | % Vacios | | | ESTABILIDAD (Lb) | | | | | FLUENCIA (PULG) | | | | |
|----------------|------------------------|---------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------------------------|------------------|--------|--------|-------------------------------|------------|-----------------|------------|-------------|-------|-------|
| | | BASE AGREGADO | BASE MEZCLA | | | | | REAL (Dr.) (kg/cm3) | PROMEDIO (Drm.) (kg/cm3) | MAXIMA TEORICA (kg/cm3) | MEZCLA (Vv) | AGREGADOS (VAM) | LLENOS DE ASFALTO (RBV) | LECT. DIAL | REAL | MEDIA | FACTOR DE CORRECCION (ALTURA) | MEDIA f.c. | CORREGIDA | LECT. DIAL | FLUJO 1/100 | MEDIA | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | mm | | | | | | o |
| | | a | b | | | | | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | p | | |
| 1 | 6.55 | 4.71 | 4.50 | 1192.5 | 1196.5 | 650.0 | 546.5 | 2.182 | | | | | | 700 | 1543.2 | | 0.953 | | | | 230 | 9.1 | |
| 2 | 6.60 | 4.71 | 4.50 | 1188.0 | 1192.5 | 659.5 | 533.0 | 2.229 | | | | | | 675 | 1488.1 | | 0.943 | | | | 210 | 8.3 | |
| 3 | 6.58 | 4.71 | 4.50 | 1189.5 | 1194.5 | 660.2 | 534.3 | 2.226 | 2.212 | 2.387 | 7.32 | 17.20 | 57.47 | 650 | 1433.0 | 1488.1 | 0.947 | 0.948 | 1410.7 | | 205 | 8.1 | 8.46 |
| 4 | 6.48 | 5.26 | 5.00 | 1180.5 | 1184.6 | 655.0 | 529.6 | 2.229 | | | | | | 730 | 1609.4 | | 0.968 | | | | 220 | 8.7 | |
| 5 | 6.75 | 5.26 | 5.00 | 1186.5 | 1190.2 | 655.1 | 535.1 | 2.217 | | | | | | 788 | 1737.2 | | 0.910 | | | | 235 | 9.3 | |
| 6 | 6.62 | 5.26 | 5.00 | 1190.5 | 1196.5 | 663.0 | 533.5 | 2.231 | 2.226 | 2.370 | 6.08 | 17.13 | 64.51 | 805 | 1774.7 | 1707.1 | 0.939 | 0.939 | 1603.0 | | 265 | 10.4 | 9.45 |
| 7 | 6.43 | 5.82 | 5.50 | 1166.4 | 1167.0 | 645.5 | 521.5 | 2.237 | | | | | | 853 | 1880.5 | | 0.980 | | | | 275 | 10.8 | |
| 8 | 6.55 | 5.82 | 5.50 | 1172.1 | 1174.3 | 654.1 | 520.2 | 2.253 | | | | | | 824 | 1816.6 | | 0.953 | | | | 270 | 10.6 | |
| 9 | 6.55 | 5.82 | 5.50 | 1175.5 | 1179.2 | 654.5 | 524.7 | 2.240 | 2.243 | 2.353 | 4.67 | 16.92 | 72.40 | 875 | 1929.0 | 1875.4 | 0.953 | 0.962 | 1804.1 | | 295 | 11.6 | 11.02 |
| 10 | 6.70 | 6.38 | 6.00 | 1183.7 | 1190.0 | 663.2 | 526.8 | 2.247 | | | | | | 890 | 1962.1 | | 0.923 | | | | 330 | 13.0 | |
| 11 | 6.70 | 6.38 | 6.00 | 1190.0 | 1194.2 | 667.2 | 527.0 | 2.258 | | | | | | 860 | 1896.0 | | 0.923 | | | | 350 | 13.8 | |
| 12 | 6.52 | 6.38 | 6.00 | 1193.5 | 1195.6 | 669.0 | 526.6 | 2.266 | 2.257 | 2.337 | 3.41 | 16.86 | 79.79 | 920 | 2028.2 | 1962.1 | 0.958 | 0.934 | 1832.6 | | 375 | 14.8 | 13.85 |
| 13 | 6.57 | 6.95 | 6.50 | 1161.5 | 1162.7 | 649.2 | 513.5 | 2.262 | | | | | | 795 | 1752.7 | | 0.949 | | | | 580 | 22.8 | |
| 14 | 6.41 | 6.95 | 6.50 | 1148.3 | 1149.3 | 637.5 | 511.8 | 2.244 | | | | | | 825 | 1818.8 | | 0.985 | | | | 550 | 21.7 | |
| 15 | 6.62 | 6.95 | 6.50 | 1188.0 | 1191.5 | 665.5 | 526.0 | 2.259 | 2.255 | 2.320 | 2.83 | 17.39 | 83.70 | 835 | 1840.8 | 1804.1 | 0.939 | 0.958 | 1728.3 | | 500 | 19.7 | 21.39 |
| 16 | 6.59 | 7.53 | 7.00 | 1185.5 | 1190.0 | 663.5 | 526.5 | 2.252 | | | | | | 625 | 1377.9 | | 0.945 | | | | 656 | 25.8 | |
| 17 | 6.65 | 7.53 | 7.00 | 1180.2 | 1183.2 | 657.0 | 526.2 | 2.243 | | | | | | 675 | 1488.1 | | 0.934 | | | | 620 | 24.4 | |
| 18 | 6.62 | 7.53 | 7.00 | 1185.6 | 1188.5 | 661.5 | 527.0 | 2.250 | 2.248 | 2.304 | 2.44 | 18.07 | 86.48 | 645 | 1422.0 | 1429.3 | 0.939 | 0.939 | 1342.1 | | 640 | 25.2 | 25.14 |

OBSERVACIONES ESPECIFICACIONES 3-5 a 15 75-82 ≥ 1800 Lb. 8-14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 115 Resultados de los cálculos de las propiedades de la mezcla con % 7 de filler

| IDENTIFICACION | ALTURA BRIQUETA (CM) | % DE ASFALTO | | PESO BRIQUETA EN EL AIRE (gr) | PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. (gr) | PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA (gr) | VOLUMEN BRIQUETA (cm3) | DENSIDAD BRIQUETA | | | % Vacios | | | ESTABILIDAD (Lb) | | | | | FLUENCIA (PULG) | | | |
|----------------|------------------------|---------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|------------------|--------|--------|---------------------------------|------------|-----------------|------------|-------------|-------|
| | | BASE AGREGADO | BASE MEZCLA | | | | | REAL (Dr.) (kg/cm3) | PROMEDIO (Drm.) (kg/cm3) | MAXIMA TEORICA (kg/cm3) | MEZCLA (Vv) | AGREGADOS (VAM) | LLENOS DE ASFALTO (RBV) | LECT. DIAL | REAL | MEDIA | FACTOR DE CORRECCION (ALTURA) | MEDIA f.c. | CORREGIDA | LECT. DIAL | FLUJO 1/100 | MEDIA |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | mm | | | | | |
| | | a | b | | | | | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | p | |
| 1 | 6.68 | 4.71 | 4.50 | 1192.5 | 1195.5 | 643.5 | 552.0 | 2.160 | | | | | 512 | 1128.8 | | 0.928 | | | 330 | 13.0 | | |
| 2 | 6.72 | 4.71 | 4.50 | 1190.0 | 1193.5 | 649.5 | 544.0 | 2.188 | | | | | 560 | 1234.6 | | 0.918 | | | 300 | 11.8 | | |
| 3 | 6.58 | 4.71 | 4.50 | 1187.0 | 1190.0 | 642.2 | 547.8 | 2.167 | 2.172 | 2.330 | 6.79 | 16.50 | 58.83 | 480 | 1058.2 | 1140.5 | 0.947 | 0.931 | 1061.8 | 310 | 12.2 | 12.34 |
| 4 | 6.65 | 5.26 | 5.00 | 1183.6 | 1186.5 | 652.2 | 534.3 | 2.215 | | | | | 612 | 1349.2 | | 0.934 | | | 385 | 15.2 | | |
| 5 | 6.70 | 5.26 | 5.00 | 1188.6 | 1191.2 | 652.3 | 538.9 | 2.206 | | | | | 515 | 1135.4 | | 0.923 | | | 400 | 15.7 | | |
| 6 | 6.66 | 5.26 | 5.00 | 1190.5 | 1193.5 | 650.0 | 543.5 | 2.190 | 2.204 | 2.314 | 4.76 | 15.70 | 69.69 | 580 | 1278.7 | 1254.4 | 0.932 | 0.929 | 1165.4 | 365 | 14.4 | 15.09 |
| 7 | 6.58 | 5.82 | 5.50 | 1176.0 | 1180.0 | 649.5 | 530.5 | 2.217 | | | | | 620 | 1366.9 | | 0.947 | | | 450 | 17.7 | | |
| 8 | 6.55 | 5.82 | 5.50 | 1185.5 | 1188.4 | 651.5 | 536.9 | 2.208 | | | | | 615 | 1355.8 | | 0.953 | | | 485 | 19.1 | | |
| 9 | 6.72 | 5.82 | 5.50 | 1186.0 | 1191.0 | 659.2 | 531.8 | 2.230 | 2.218 | 2.298 | 3.47 | 15.59 | 77.72 | 550 | 1212.5 | 1311.7 | 0.918 | 0.939 | 1231.7 | 450 | 17.7 | 18.18 |
| 10 | 6.76 | 6.38 | 6.00 | 1192.5 | 1196.5 | 662.2 | 534.3 | 2.232 | | | | | 625 | 1377.9 | | 0.908 | | | 525 | 20.7 | | |
| 11 | 6.66 | 6.38 | 6.00 | 1187.4 | 1192.0 | 662.2 | 529.8 | 2.241 | | | | | 660 | 1455.0 | | 0.932 | | | 565 | 22.2 | | |
| 12 | 6.64 | 6.38 | 6.00 | 1194.6 | 1198.5 | 663.4 | 535.1 | 2.232 | 2.235 | 2.283 | 2.08 | 15.40 | 86.49 | 685 | 1510.2 | 1447.7 | 0.936 | 0.925 | 1339.1 | 550 | 21.7 | 21.52 |
| 13 | 6.59 | 6.95 | 6.50 | 1189.6 | 1193.5 | 663.2 | 530.3 | 2.243 | | | | | 632 | 1393.3 | | 0.945 | | | 650 | 25.6 | | |
| 14 | 6.60 | 6.95 | 6.50 | 1172.5 | 1176.5 | 655.0 | 521.5 | 2.248 | | | | | 700 | 1543.2 | | 0.943 | | | 680 | 26.8 | | |
| 15 | 6.66 | 6.95 | 6.50 | 1194.5 | 1198.5 | 668.0 | 530.5 | 2.252 | 2.248 | 2.267 | 0.87 | 15.38 | 94.36 | 672 | 1481.5 | 1472.7 | 0.932 | 0.940 | 1384.3 | 605 | 23.8 | 25.39 |
| 16 | 6.62 | 7.53 | 7.00 | 1193.5 | 1196.5 | 665.2 | 531.3 | 2.246 | | | | | 675 | 1488.1 | | 0.939 | | | 830 | 32.7 | | |
| 17 | 6.68 | 7.53 | 7.00 | 1187.6 | 1191.2 | 662.2 | 529.0 | 2.245 | | | | | 652 | 1437.4 | | 0.928 | | | 780 | 30.7 | | |
| 18 | 6.58 | 7.53 | 7.00 | 1196.5 | 1199.0 | 666.2 | 532.8 | 2.246 | 2.246 | 2.252 | 0.29 | 15.91 | 98.15 | 665 | 1466.1 | 1463.9 | 0.947 | 0.938 | 1373.1 | 810 | 31.9 | 31.76 |

OBSERVACIONES ESPECIFICACIONES 3-5 ≥ 15 75-82 ≥ 1800 lb. 8-14

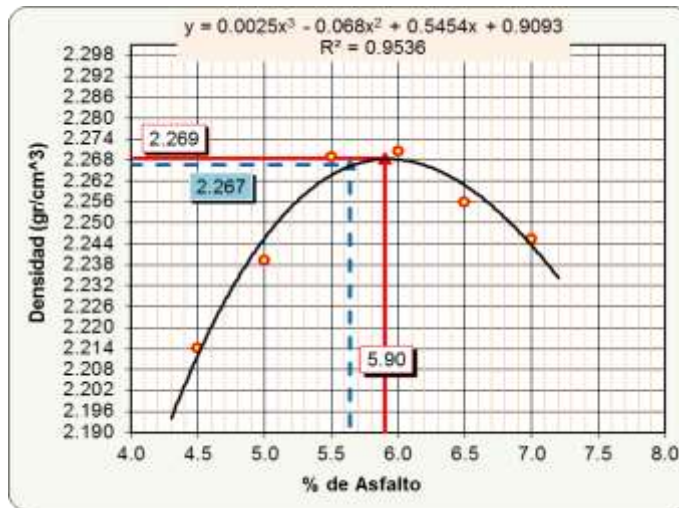
Fuente: Elaboración propia

4.2.6.2. Gráficas de las Propiedades de la Mezcla Asfáltica

A continuación se muestran las gráficas de las curvas de diseño Marshall para determinar el % óptimo de asfalto y filler de ceniza de bagazo.

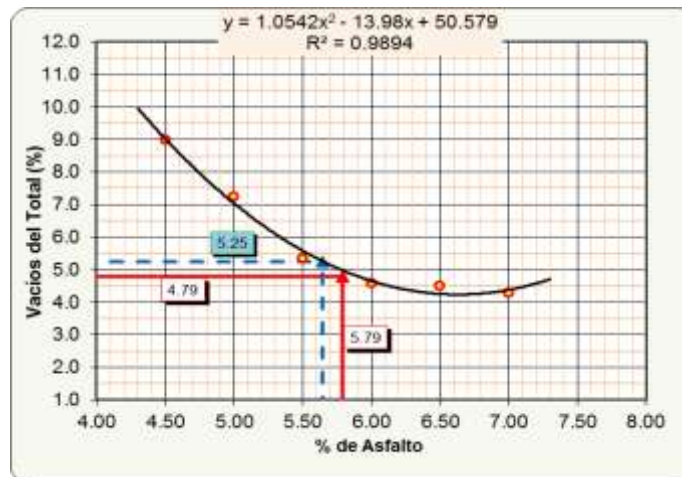
4.2.6.2.1. Curvas del diseño Marshall para el 3 % de filler de ceniza de Bagazo de la Caña de Azúcar.

Figura 26 Porcentaje de Asfalto vs. Densidad.



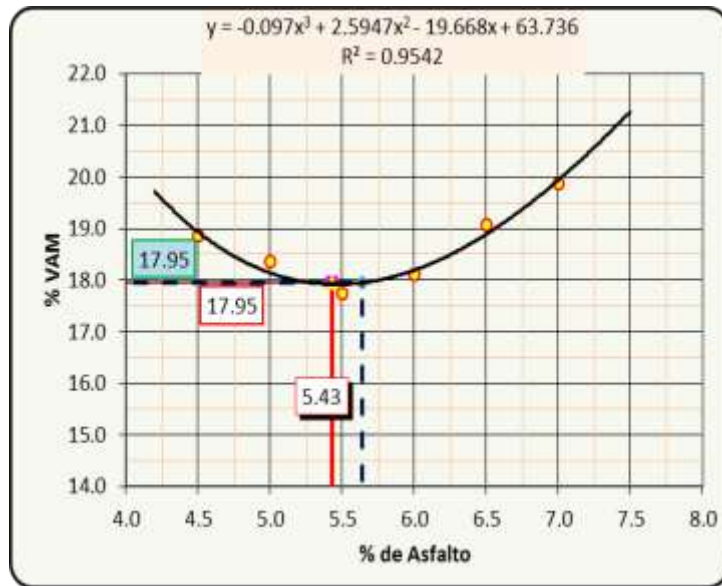
Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos de aire



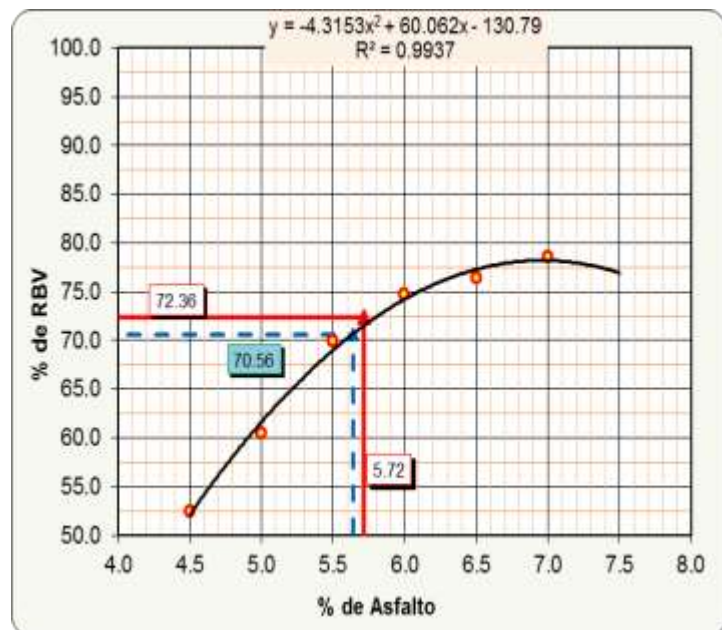
Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Porcentaje de Asfalto vs. Vacíos de agregado mineral (VAM)



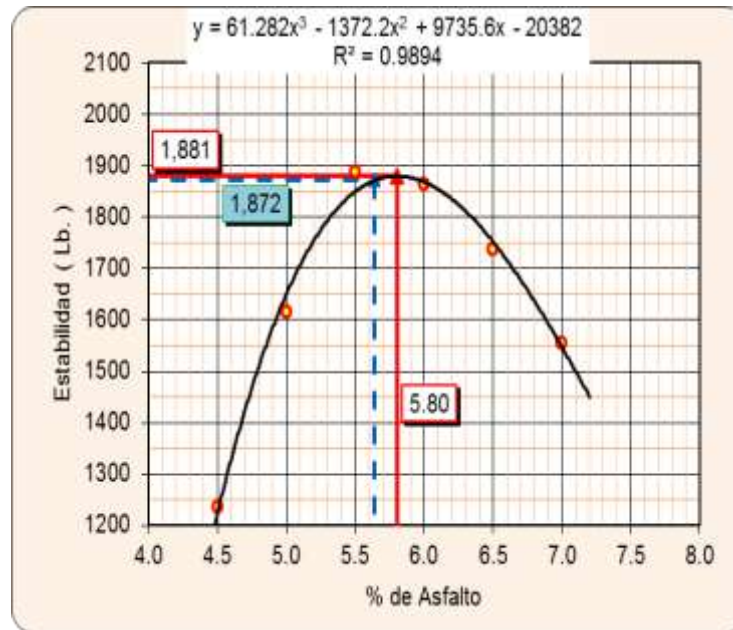
Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto



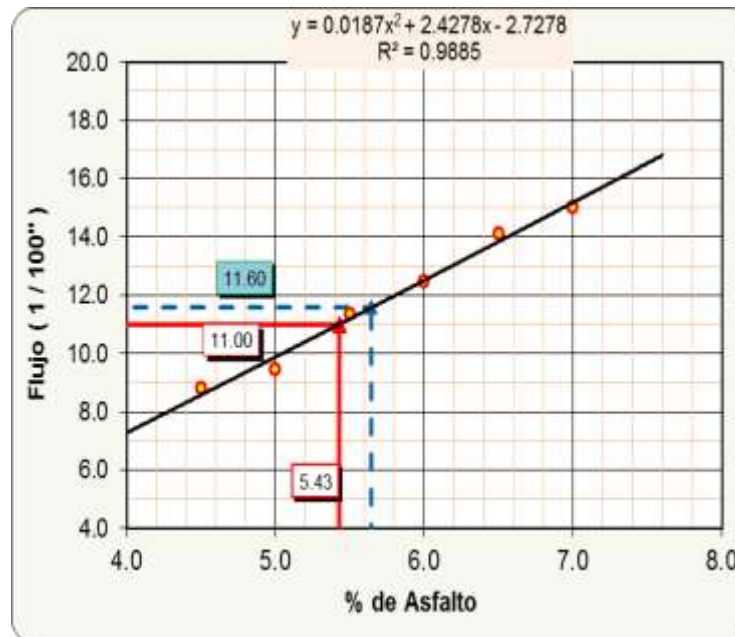
Fuente: Elaboración propia

Figura 30 Porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad corregida.



Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).



Fuente: Elaboración propia

De las gráficas de las propiedades de la mezcla asfáltica con respecto al porcentaje de asfalto, obtenemos los valores más óptimos para cada propiedad.

Tabla 116 Resultados del ensayo MARSHALL

| VALORES | | | | |
|------------------|--------------|---|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | OBTENIDOS DE GRÁFICOS | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,90 | 2,269 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,79 | 4,8 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5,72 | 72,4 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5,43 | 22,3 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,80 | 1880,5 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,43 | 11,0 | 8 | 14 |
| PROMEDIO (%) | 5,64 | Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Gráficas, Densidad, VAM, Estabilidad y Fluencia | | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO.

El porcentaje de asfalto promedio determinado es el óptimo, con el mismo determinamos acuerdo a las gráficas el valor de sus propiedades correspondientes.

Tabla 117 Resultados del ensayo MARSHALL con el % óptimo de asfalto.

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,64 | 2,267 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,64 | 5,25 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5,64 | 70,56 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5,64 | 17,95 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,64 | 1872 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,64 | 11,60 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 5,6 | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO

A continuación se muestra los porcentajes de cada componente para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de filler de ceniza de bagazo.

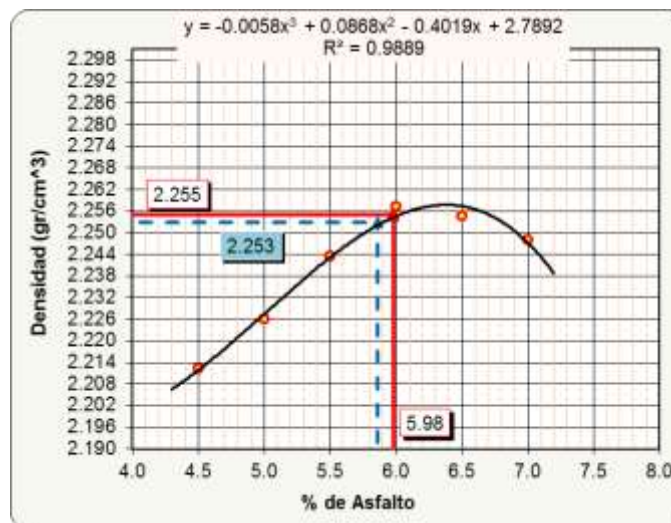
Tabla 118 Diseño de la mezcla asfáltica optima con 3% de filler

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 40 |
| | FILLER DE CENIZA | 9 |
| | % ASF. OTP. | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia

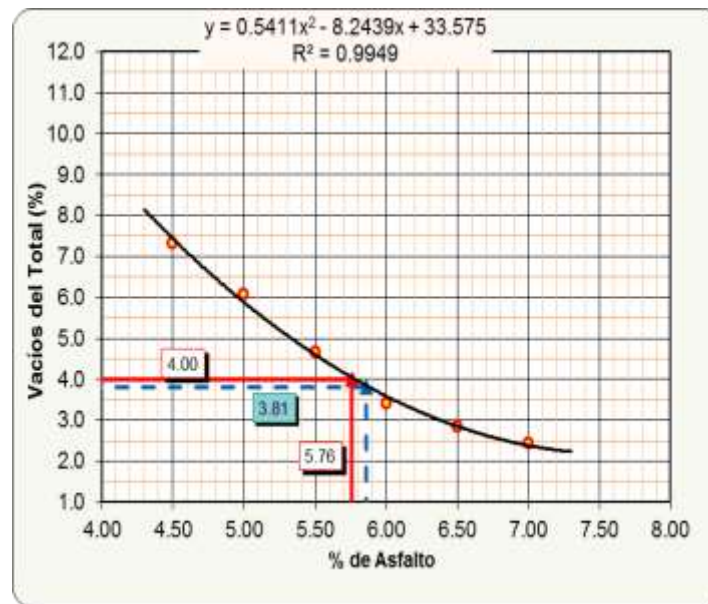
4.2.6.2.2. Curvas del diseño Marshall para el 5 % de Filler de Ceniza de Bagazo de la Caña de Azúcar.

Figura 32 Porcentaje de Asfalto vs. Densidad.



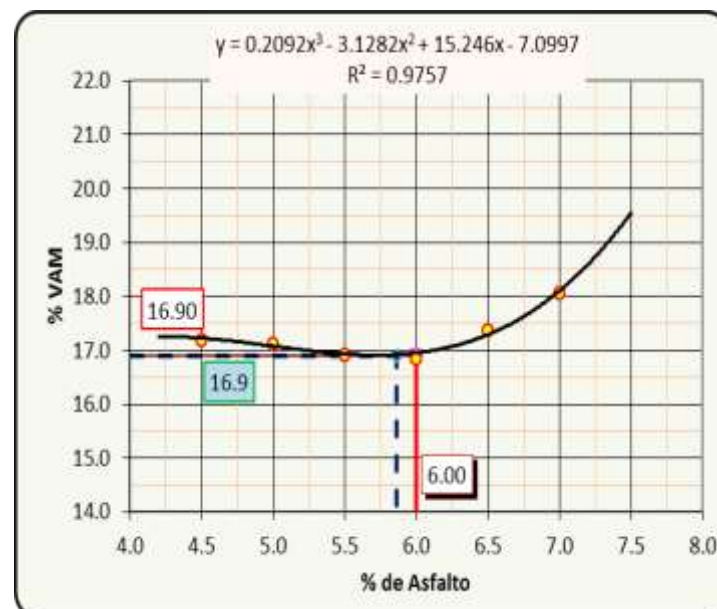
Fuente: Elaboración propia

Figura 33 Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos de aire



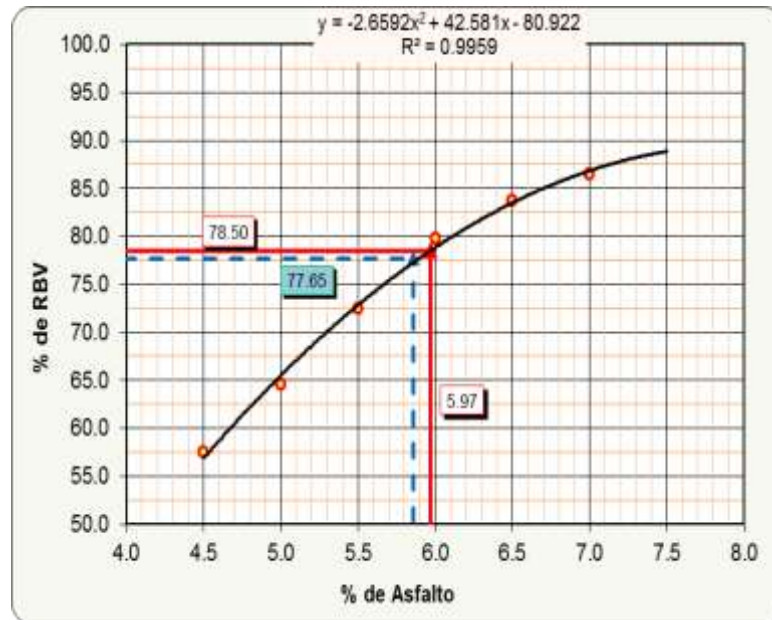
Fuente: Elaboración propia

Figura 34 Porcentaje de Asfalto vs. Vacíos de agregado mineral



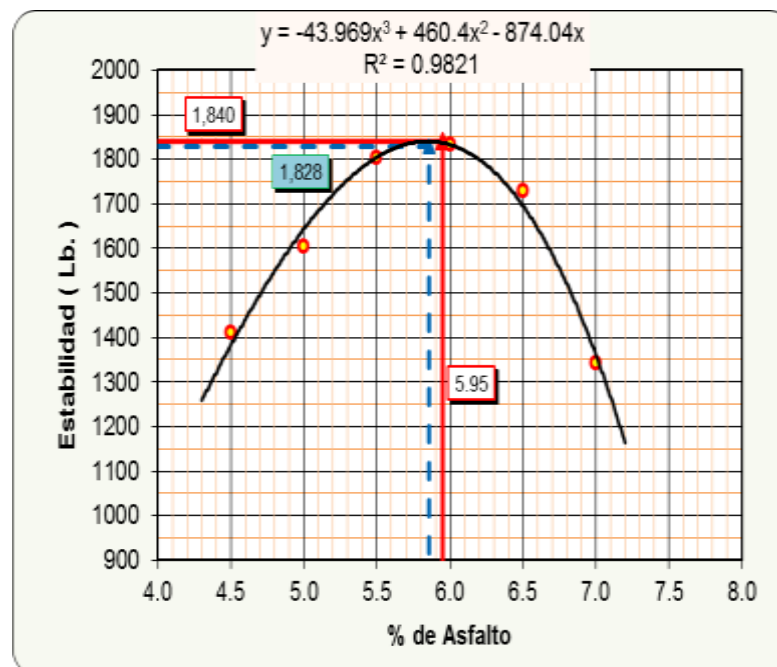
Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto

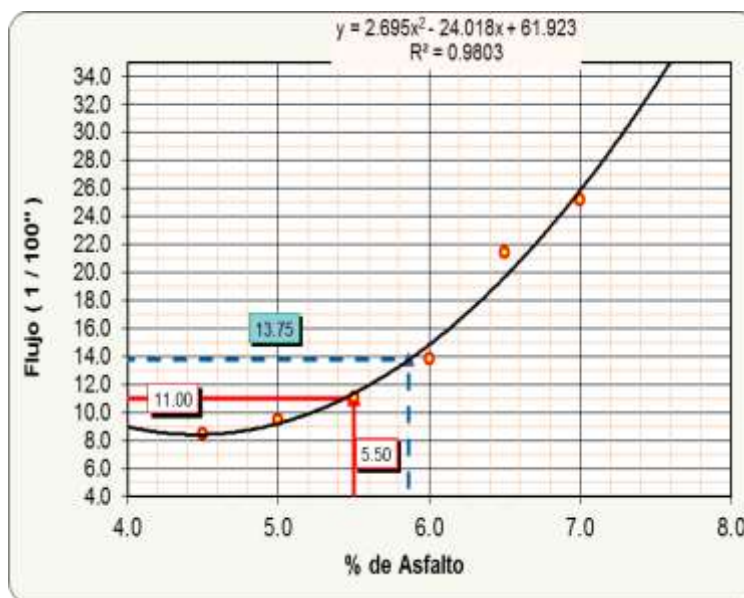


Fuente: Elaboración propia

Figura 36 Porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad corregida.



Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).

Fuente: Elaboración propia

De las gráficas de las propiedades de la mezcla asfáltica con respecto al porcentaje de asfalto, obtenemos los valores más óptimos para cada propiedad.

Tabla 119 Resultados del ensayo MARSHALL

| VALORES | | | | |
|------------------|--------------|---|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | OBTENIDOS DE GRÁFICOS | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,98 | 2,255 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,76 | 4,0 | 3 | 5 |
| %R.B.V. | 5,97 | 78,5 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 6,00 | 16,9 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,95 | 1840,0 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,50 | 11,0 | 8 | 14 |
| PROMEDIO (%) | 5,86 | Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas | | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO.

El porcentaje de asfalto promedio determinado es el óptimo, con el mismo determinamos acuerdo a las gráficas el valor de sus propiedades correspondientes.

Tabla 120 Resultados del ensayo MARSHALL con el % óptimo de asfalto.

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,86 | 2,253 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,86 | 3,81 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5,86 | 77,65 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5,86 | 16,90 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,86 | 1828 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,86 | 13,75 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 5,9 | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO

A continuación se muestra los porcentajes de cada componente para el diseño de la mezcla asfáltica con 5% de filler de ceniza de bagazo.

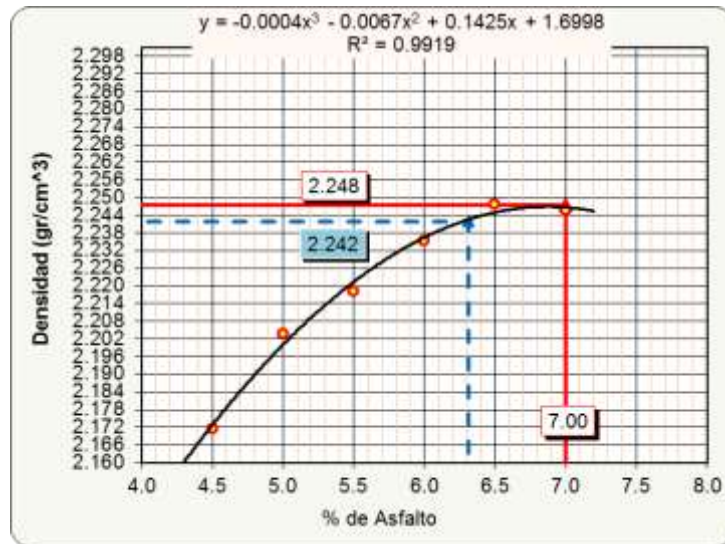
Tabla 121 Diseño de la mezcla asfáltica optima con el 5% de filler

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--------------------------------|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 32 |
| | FILLER DE CENIZA | 17 |
| | % ASFALTO | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia

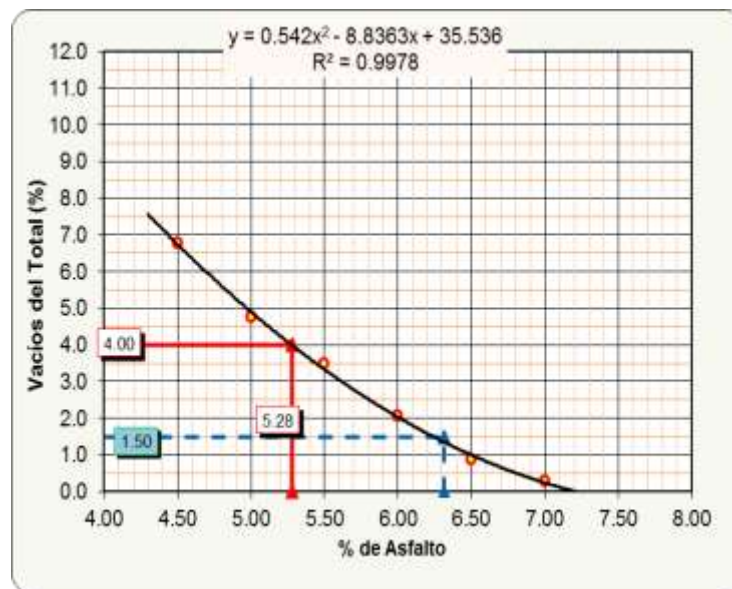
4.2.6.2.3. Curvas del diseño Marshall para el 7 % de Filler de Ceniza de Bagazo de la Caña de Azúcar

Figura 38 Porcentaje de Asfalto vs. Densidad



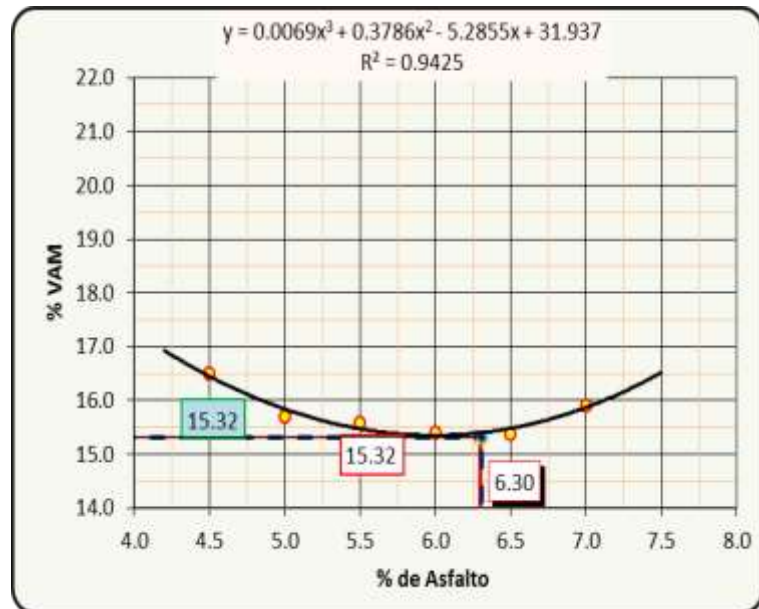
Fuente: Elaboración propia

Figura 39 Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos de aire



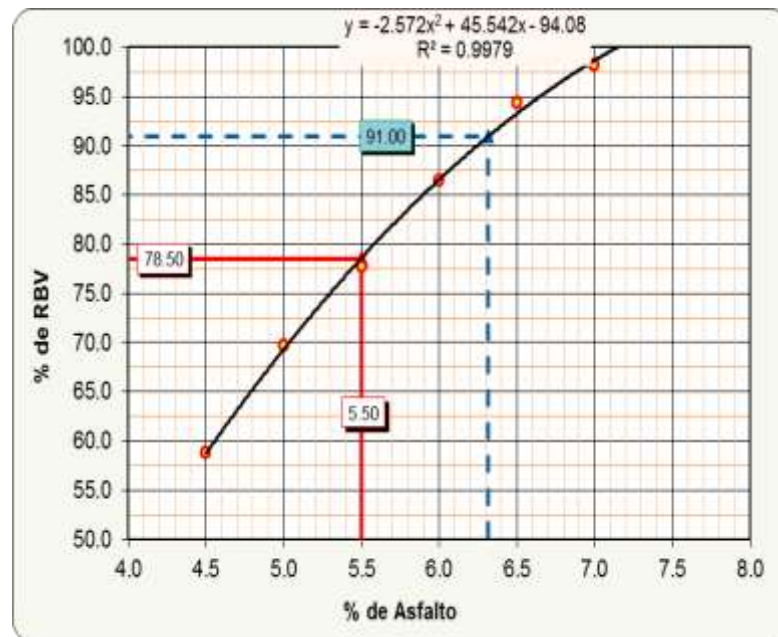
Fuente: Elaboración propia

Figura 40 Porcentaje de Asfalto vs. Vacíos de agregado mineral



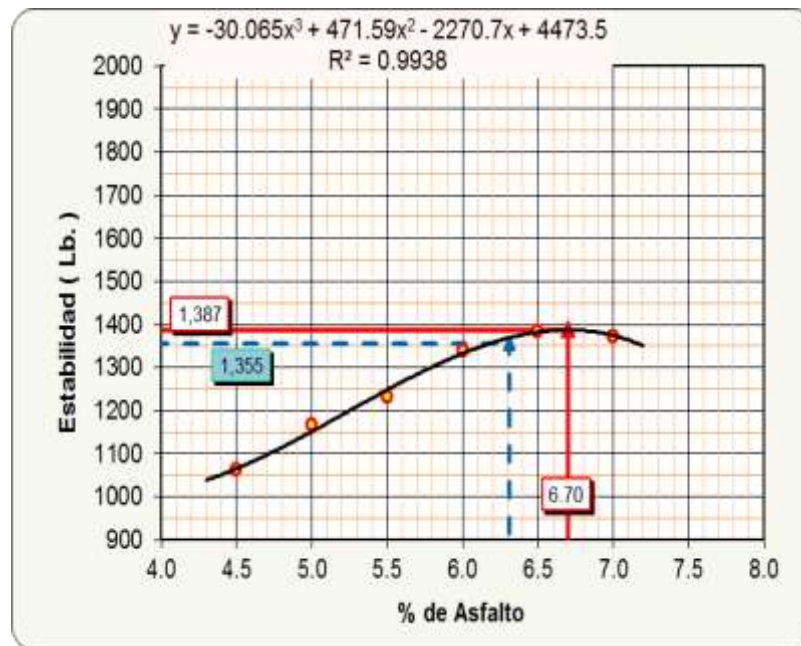
Fuente: Elaboración propia

Figura 41 Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto



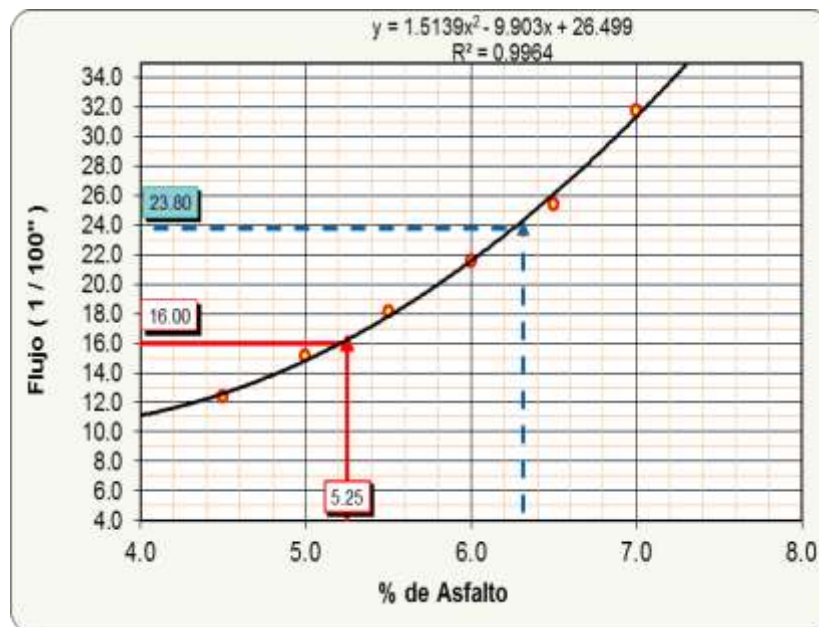
Fuente: Elaboración propia

Figura 42 Porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad corregida



Fuente: Elaboración propia

Figura 43 Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).



Fuente: Elaboración propia

De las gráficas de las propiedades de la mezcla asfáltica con respecto al porcentaje de asfalto, obtenemos los valores más óptimos para cada propiedad, a continuación se muestran la tabla de resultados.

Tabla 122 Resultados del ensayo MARSHALL

| VALORES | | | | |
|------------------|--------------|---|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | OBTENIDOS DE GRÁFICOS | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 7,00 | 2,248 | ----- | ----- |
| % VACIOS | 5,28 | 4,0 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5,50 | 78,5 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 6,30 | 22,3 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 6,70 | 1387,0 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,25 | 16,0 | 8 | 14 |
| PROMEDIO (%) | 6,31 | Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas | | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO.

El porcentaje de asfalto promedio determinado es el óptimo, con el mismo determinamos acuerdo a las gráficas el valor de sus propiedades correspondientes.

Tabla 123 Resultados del ensayo MARSHALL con él % óptimo de asfalto.

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 6,31 | 2,242 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 6,31 | 1,50 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 6,31 | 91,00 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 6,31 | 15,32 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 6,31 | 1355 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 6,31 | 23,80 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 6,3 | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO

A continuación se muestra los porcentajes de cada componente para el diseño de la mezcla asfáltica con 7% de filler de ceniza de bagazo.

Tabla 124 Diseño de la mezcla asfáltica optima

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|------------------------------------|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 25 |
| | FILLER DE CENIZA | 24 |
| | % ASFALTO | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia

4.2.6.3. Estabilidad Marshall Remanente

Es la estabilidad Marshall que se obtiene al ensayar briquetas con los porcentajes óptimos de diseño, que previas al ensayo estuvieron sumergida en baño maría a 60 °C de temperatura durante 24 horas.

La estabilidad remanente debe ser mayor al 85 % de la estabilidad Marshall obtenida en el ensayo normalizado para que el diseño de la mezcla asfáltica sea válido para su posterior aplicación en los pavimentos.

Se determinó la estabilidad remanente de la mezcla asfáltica con 5 % de ceniza de bagazo como filler, porque es el diseño óptimo que cumple con las especificaciones normalizadas. La estabilidad remanente es 89,98 % lo cual indica que la mezcla es apta para su uso vial.

A continuación se muestra la tabla de resultados del ensayo.

Tabla 125 Resultados de la estabilidad remanente de la M.A con el 5% de filler de ceniza

| Peso Especifico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166) | | | | | | | | | | Peso Esp. Max. de Mezclas Compact.(AASHTO T-209) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|--|----------|--------------------|-------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------|-------------------|---------------------|----------------|-------------------|----------|-------|--|
| N° Probeta | Altura de Probeta | % Asfalto | | Peso Probeta | | | Vol. | Densidad Probeta | | % de Vacíos | | | | | | Estabilidad Marshall | | | | Flujo | | | | |
| | | Base mezcla | Base Agregado | Seco | Sat. Sup. Seca | Sumergida en Agua | Probeta | Densidad Real | Densidad Promedio | Densidad Máxima | Teórica | % de Vacíos Mezcla | Total | V.A.M. (Vacíos Agregados Mineral) | R.B.V. (Relación Betumen Vacíos) | LEC. DIAL | Carga | Factor corrección | Carga Real Corregid | Carga Promedio | En 1/100 pulgadas | promedio | | |
| | | % | % | grs. | grs. | grs. | CC | Grs./cm3 | Grs./cm3 | Grs./cm3 | Grs./cm3 | % | % | % | | Libras | | Libras | Libras | | | | | |
| 1 | 6.30 | 5.86 | 6.2 | 1183.7 | 1190.0 | 663.2 | 526.8 | 2.247 | | | | | | | 895 | 1973.1 | 1.01 | 1998.8 | | 0.140 | | | | |
| 2 | 6.21 | 5.86 | 6.2 | 1190.0 | 1194.2 | 667.2 | 527.0 | 2.258 | | | | | | | 870 | 1918.0 | 1.04 | 1989.0 | | 0.145 | | | | |
| 3 | 6.26 | 5.86 | 6.2 | 1193.5 | 1195.6 | 669.0 | 526.6 | 2.266 | 2.257 | 2.34 | 3.51 | 16.64 | 78.91 | 910 | 2006.2 | 1.02 | 2054.3 | 2014.0 | 0.132 | 13.90 | | | | |
| Ensayo Realizado a 24 Hrs. ESTABILIDAD REMANENTE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 6.35 | 5.86 | 6.2 | 1193.5 | 1195.6 | 667.2 | 528.4 | 2.259 | | | | | | | 824 | 1816.6 | 1.00 | 1816.6 | | 0.136 | | | | |
| 5 | 6.29 | 5.86 | 6.2 | 1193.5 | 1195.6 | 669.0 | 526.6 | 2.266 | | | | | | | 815 | 1796.7 | 1.02 | 1825.5 | | 0.142 | | | | |
| 6 | 6.37 | 5.86 | 6.2 | 1190.0 | 1193.0 | 665.0 | 528.0 | 2.254 | 2.260 | 2.34 | 3.40 | 16.55 | 79.43 | 818 | 1803.4 | 1.00 | 1794.3 | 1812.1 | 0.136 | 13.80 | | | | |
| OBSERVACIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | Resistencia Remanente (%) | | | | 89.98 | > | | 85.00 | |
| Especificación | | Mínimo | | | | | | | | 3 | 15 | 75 | | | | | 1800 | | | 8 | | | | |
| | | Máximo | | | | | | | | 5 | 82 | | | | | | | | 14 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

4.2.6.4. Resumen de los Resultados del Comportamiento de las Variables en Estudio

- **Diseño 1 para el 3 % de filler de ceniza de bagazo.**

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO ÓPTIMO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,64 | 2,267 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,64 | 5,25 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5,64 | 70,56 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5,64 | 17,95 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,64 | 1872 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,64 | 11,60 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 5,6 | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO

Se obtiene mejor resultado en sus propiedades de estabilidad, fluencia, % V.A.M, las propiedades con la que no cumple son % VACÍOS, % R.B.V lo que ocasiona pasajes en la mezcla por los cuales entra fácilmente el agua y el aire causando oxidación, desintegración en la mezcla y envejecimiento temprano.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos, razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va ser la permeabilidad de la mezcla, el alto contenido de vacíos produce endurecimiento temprano del asfalto seguido por un agrietamiento o desintegración, también provoca agrietamiento por fatiga.

DISEÑO DESCARTADO PARA TRÁFICO PESADO.

- **Diseño 2 para el 5 % de filler de ceniza de bagazo.**

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO ÓPTIMO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,86 | 2,253 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,86 | 3,81 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5,86 | 77,65 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5,86 | 16,90 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,86 | 1828 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,86 | 13,75 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 5,9 | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO

Se puede observar que cumple con todas las propiedades exigidas por el método Marshall, lo cual nos garantiza la producción de un buen pavimento.

DISEÑO ACEPTADO PARA TRÁFICO PESADO.

- **Diseño 2 para el 7 % de filler de ceniza de bagazo.**

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO OPTIMO | VALORES CON EL % OPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 6,31 | 2,242 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 6,31 | 1,50 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 6,31 | 91,00 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 6,31 | 15,32 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 6,31 | 1355 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 6,31 | 23,80 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 6,3 | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO

En este caso se observa que solo cumple con una sola propiedad que V.A.M, la fluencia aumenta considerablemente un 70 % debido al exceso de filler de ceniza de bagazo y su estabilidad se reduce bastante por debajo del 13.6 % de su parámetro mínimo. **DISEÑO DESCARTADO PARA TRÁFICO PESADO.**

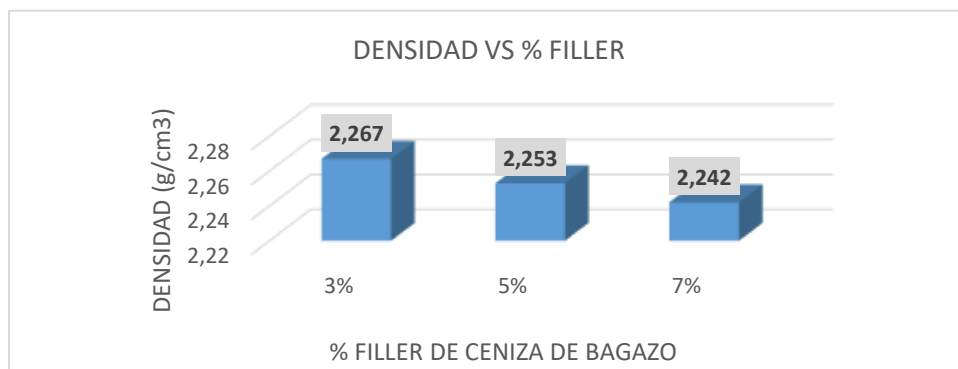
Por lo tanto la opción mejor recomendada y óptima es el diseño 2 con un porcentaje de filler de ceniza de bagazo de un 5% y 5,9 % de asfalto. Con este diseño se examinara y analizara con detenimiento el comportamiento de las propiedades de la mezcla asfáltica estableciendo las variaciones con respecto a la mezcla convencional.

4.3 Diagramas de Barras.

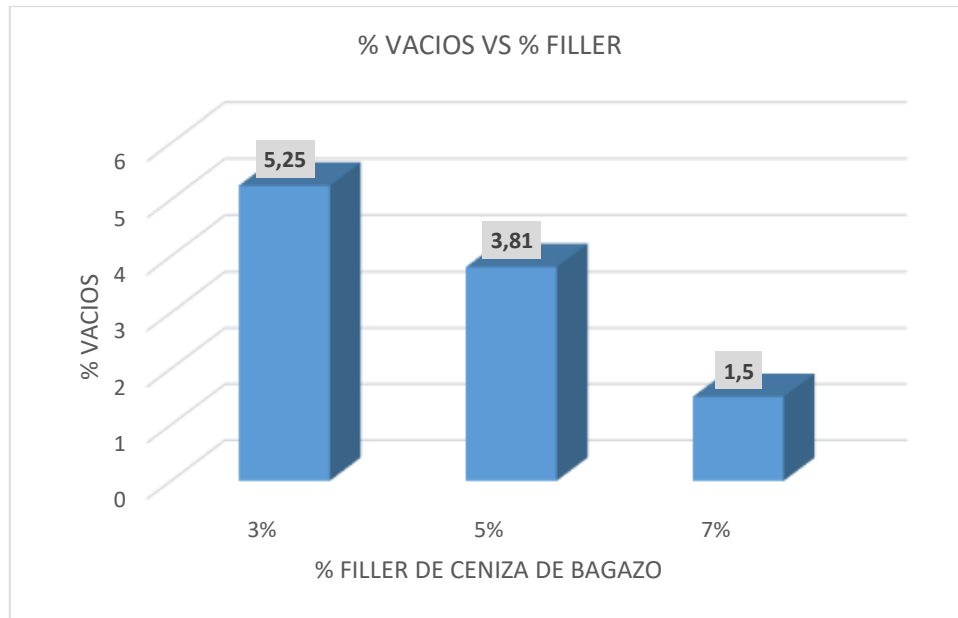
Para comprender mejor cómo se comportan las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico y filler de ceniza de bagazo, se realizaron diagramas para detectar en forma clara y precisa las variaciones producidas en dichas propiedades. Lo cual es favorable para analizar las variables planteadas en el estudio.

a) Mezcla asfáltica con filler de ceniza de bagazo.- Se realizaron las gráficas con los 3 porcentajes de filler (3%,5% y 7%) adicionado a la mezcla asfáltica respecto a cada propiedad.

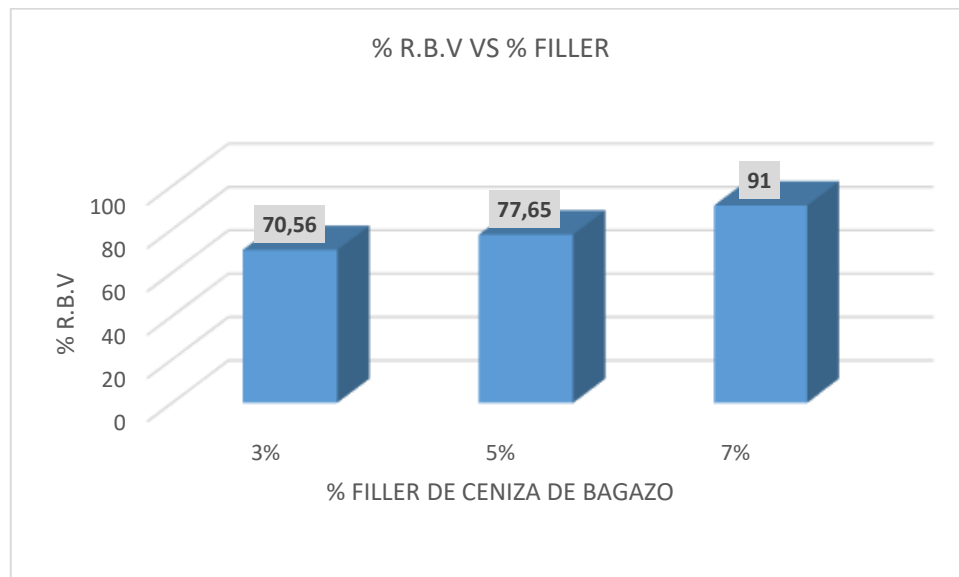
Figura 44 Diagrama de barras Densidad VS % Filler



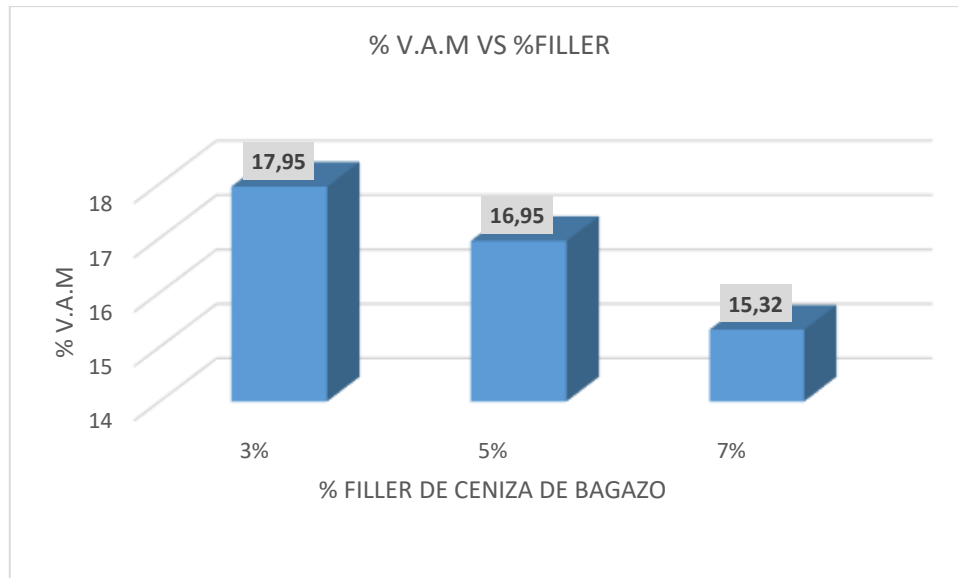
Fuente: Elaboración propia

Figura 45 Diagrama de barras % Vacíos VS % Filler

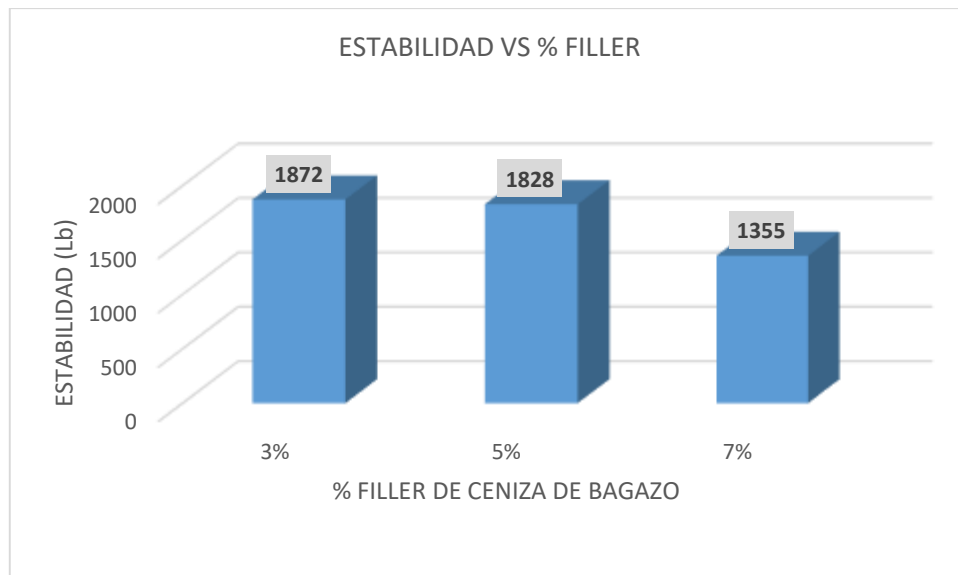
Fuente: Elaboración propia

Figura 46 Diagrama de barras % R.B.V. VS Filler

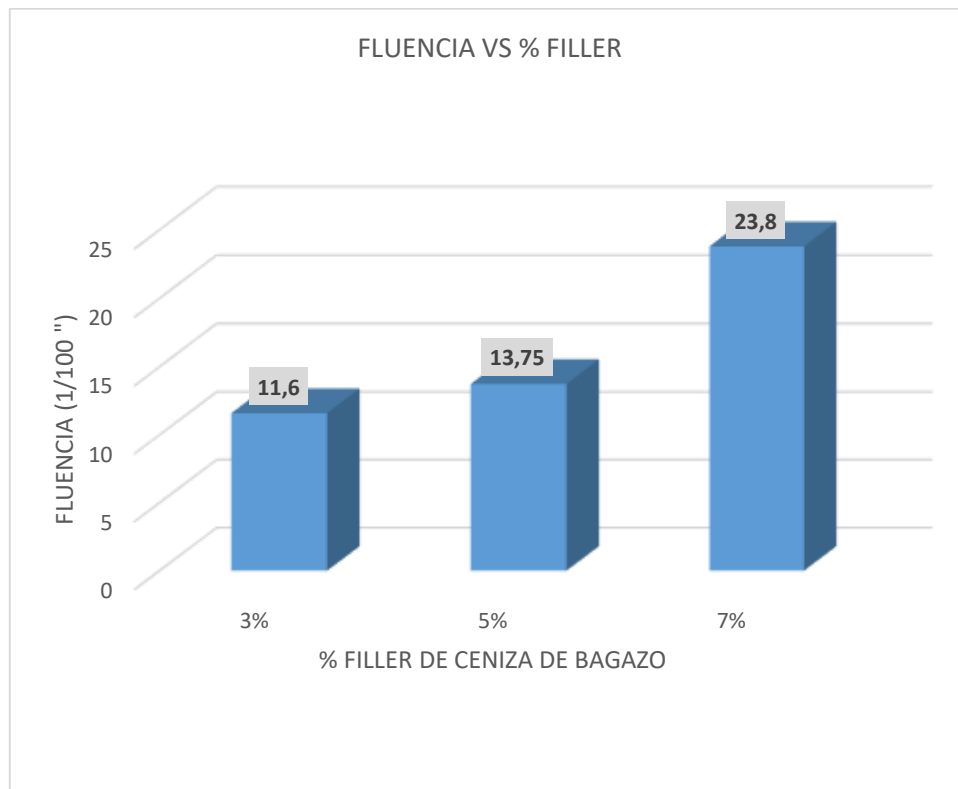
Fuente: Elaboración propia

Figura 47 Diagrama de barras % V.A.M. VS Filler

Fuente: Elaboración propia

Figura 48 Diagrama de barra Estabilidad VS Filler

Fuente: Elaboración propia

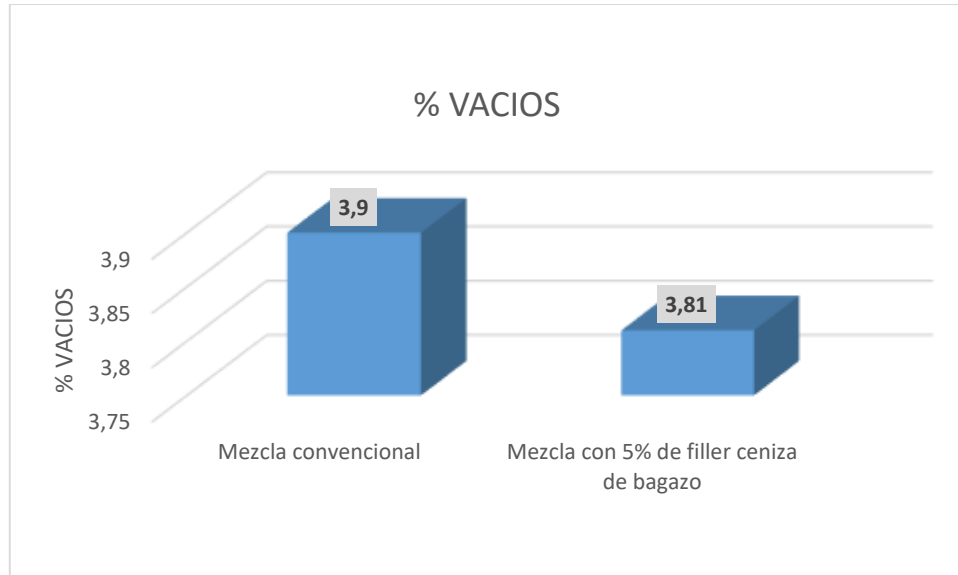
Figura 49 Diagrama de barras Fluencia VS Filler

Fuente: Elaboración propia

b) Diseño óptimo de la mezcla asfáltica con filler de ceniza de bagazo comparando con el diseño óptimo de la mezcla asfáltica convencional.-

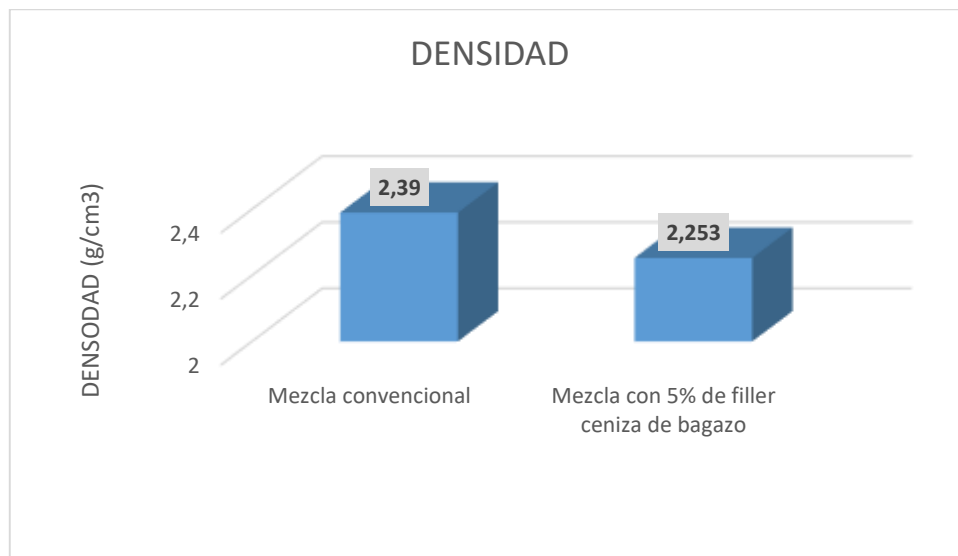
Se realizarán las gráficas para analizar la variación de las propiedades de la mezcla asfáltica convencional con la mezcla asfáltica con 5% de filler de ceniza de bagazo, en ambos casos con los resultados de diseño en los que se optimizan las propiedades.

Figura 50 Diagrama de barras % de vacíos, M.A.C vs M.A con 5% filler de ceniza



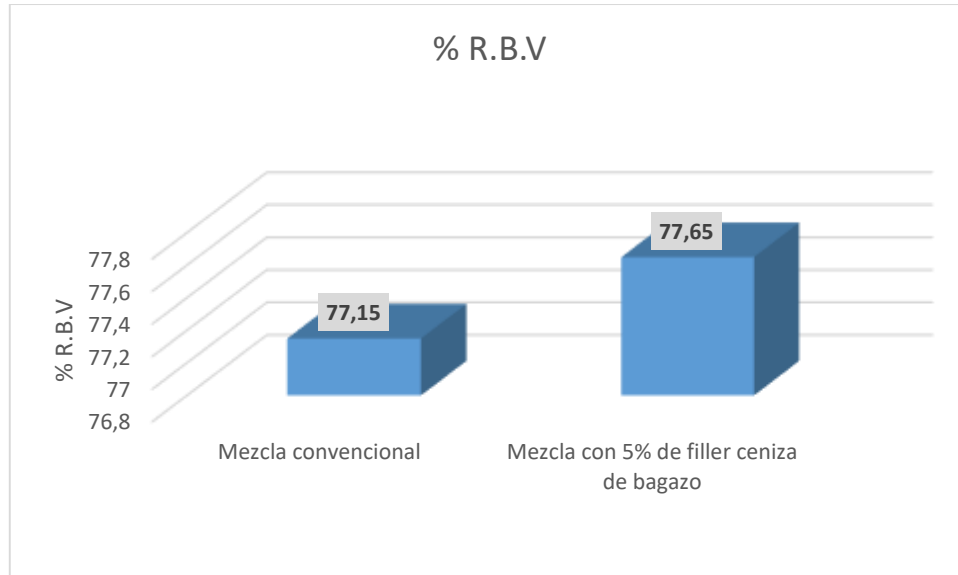
Fuente: Elaboración propia

Figura 51 Diagrama de barras Densidad, M.A.C vs M.A con 5% filler de ceniza



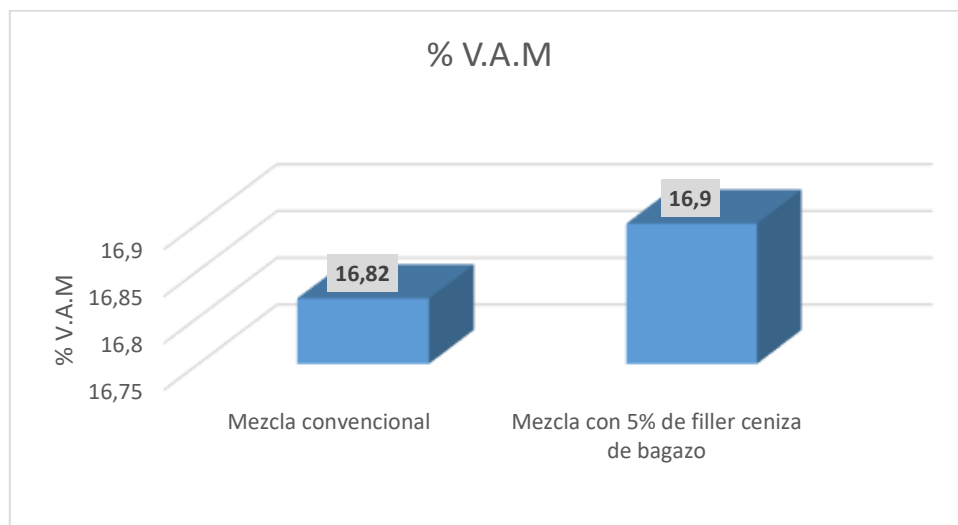
Fuente: Elaboración propia

Figura 52 Diagrama de barras % de R.B.V, M.A.C vs M.A con 5% filler de ceniza



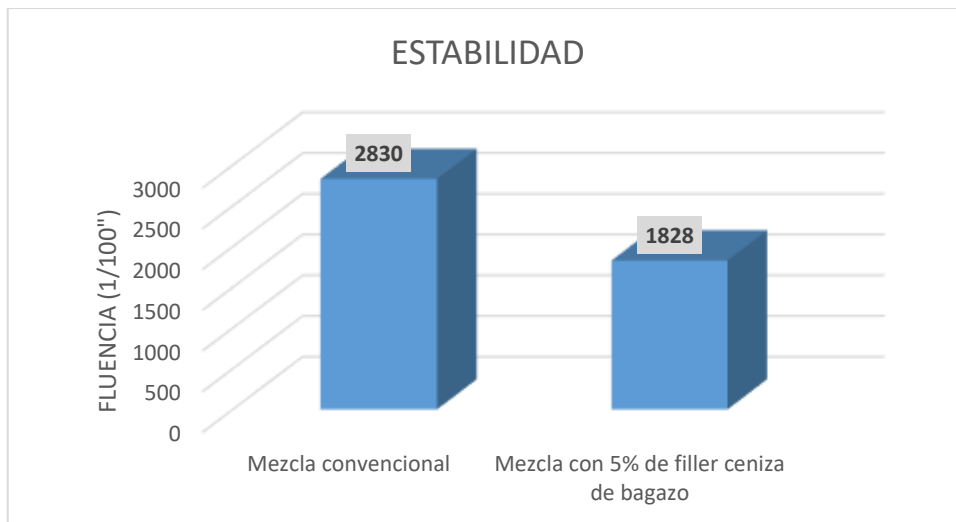
Fuente: Elaboración propia

Figura 53 Diagrama de barras % de V.A.M, M.A.C vs M.A con 5% filler de ceniza



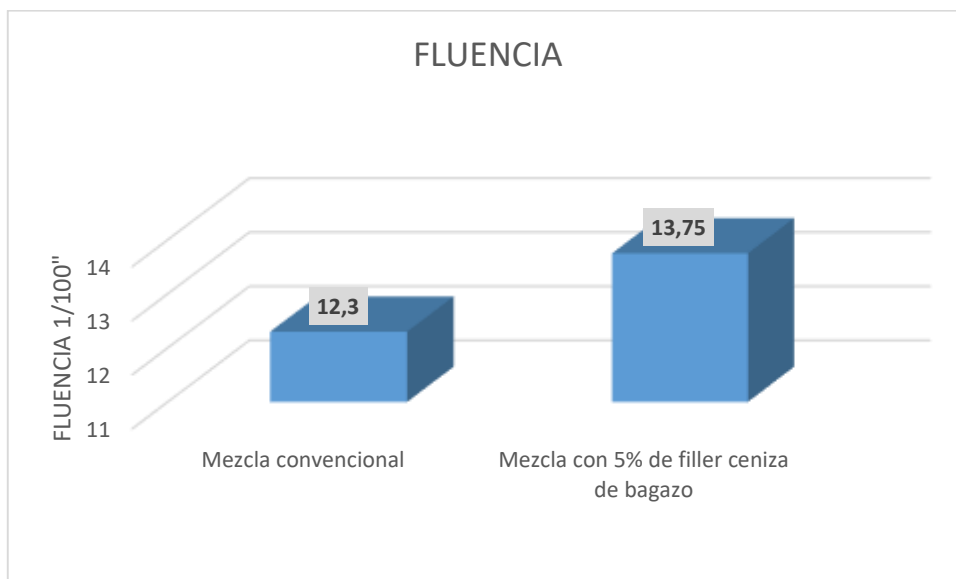
Fuente: Elaboración propia

Figura 54 Diagrama de barras % Estabilidad, M.A.C vs M.A con 5% filler de ceniza



Fuente: Elaboración propia

Figura 55 Diagrama de barras % Fluencia, M.A.C vs M.A con 5% filler de ceniza



Fuente: Elaboración propia

Tabla 126 Comparación de las propiedades de la M.A convencional con la M.A con 5 % de filler de ceniza de bagazo

| DESCRIPCIÓN | PROPIEDADES OBTENIDAS MEDIANTE MARSHALL | | | | | |
|---|---|----------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|
| | ESTABILIDAD (Lb) | FLUENCIA (1/100") | % VACIOS (%) | % R.B.V (%) | % V.A.M (%) | DENSIDAD (g/cm3) |
| MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL | 2830 | 12.3 | 3.9 | 77.15 | 16.82 | 2.39 |
| MEZCLA ASFÁLTICA CON 5% DE CENIZA DE BAGAZO | 1828 | 13.75 | 3.81 | 77.65 | 16.9 | 2.25 |
| ESPECIFICACIONES | > 1800 Lb | 8--14 | 3--5 | 75--82 | 15 Mín | -- |
| DIFERENCIA PORC. (%) | 35.41 | 11.79 | 2.31 | 0.65 | 0.48 | 5.86 |
| MEJORAS | | | / | / | / | / |

Fuente: Elaboración propia

4.4. Preparación de Briquetas con los Porcentajes Óptimos de Diseño

A) Mezcla asfáltica convencional.- Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 5,55% del total de la briqueta de 1200 gramos, y calculado anteriormente la temperatura de mezclado y compactado de las briquetas se procede a elaborar 15 briquetas, de las cuales 9 serán ensayadas por método Marshall y 6 por el ensayo de cántabro, para así obtener más valores representativos para analizar el comportamiento de las variables planteadas para la investigación y validarlas mediante tratamiento estadístico.

B) Mezcla asfáltica con filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar.- Después de calcular el porcentaje óptimo de filler de ceniza de bagazo de la caña de azúcar que es 5 % y del cemento asfáltico igual a 5,9 %, también se elaboraran 15 briquetas y se analizar 9 mediante el método Marshall nuevamente y 6 por el ensayo cántabro por perdida por desgaste y se analizara el comportamiento de las variables planteadas para la investigación.

Se elaboraron 15 briquetas más para los valores óptimos de los 2 de diseños por el tema de disponibilidad de tiempo de uso de los laboratorios, con estos datos se obtiene más

parámetros confiables, para realizar en tratamiento estadístico y demostrar la verdad de la hipótesis.

4.5. Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste (NLT – 159/86)

El ensayo cántabro sirve para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la Máquina de Los Ángeles sin carga abrasiva. El procedimiento se puede emplear tanto en el Proyecto de mezclas en laboratorio, como para el control en obra de las mismas. Este fue desarrollado por los españoles con la finalidad de facilitar el desarrollo y optimización de la composición y comportamiento de las mezclas asfálticas, la normativa española NLT-159/86 actual, establece que la pérdida por desgaste en el ensayo cántabro a 25°C debe ser menor que el 25% en peso, norma para la cual se regió en este estudio .

El procedimiento se aplica a las mezclas asfálticas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm. El ensayo permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Equipo

- Máquina de los Ángeles.
- Termómetro.
- Balanza eléctrica A \pm 0.01 gr.
- Cámara termostática.
- Briquetas elaboradas mediante el método Marshall.

Procedimiento:

Este ensayo consiste en medir el peso en aire de una briqueta Marshall que está a 25° \pm 2°C de temperatura, e inmediatamente introducirla en la máquina de los Ángeles, y sin ningún tipo de carga abrasiva someterla a 300 revoluciones del tambor, durante el

ensayo la briqueta de mezcla se va erosionando y desgastando lo que al final del ensayo genera una pérdida de peso de la briqueta como se muestra en siguiente imagen.

Figura 56 Sometiendo la briqueta al ensayo de cántabro



Fuente: Elaboración propia

Figura 57 Briqueta después del ensayo de cántabro



Fuente: Elaboración propia

Se evaluará 6 briquetas con los porcentajes óptimos de la mezcla convencional y 6 briquetas con los porcentajes óptimos de la mezcla asfáltica con ceniza de bagazo de la caña de azúcar como filler. Fórmula para calcular el % de pérdida por desgaste:

$$\%p = \frac{PI - PF}{PI} * 100$$

Donde:

%P = Pérdida por desgaste al Cántabro.

PI = Peso inicial de la briqueta en gramos.

PF = Peso final de la briqueta en gramos.

Tabla 127 Datos y resultados del ensayo de cántabro

| MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL | | | | | |
|---|-------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|------------------|
| N° DE BRIQUETA | PESOS | | TEMP. DE ENSAYO °C | PORCENTAJE DE PERDIDA (%) | ESPECIFICACIONES |
| | INICIAL (g) | DESPUÉS DE ENSAYO (g) | | | |
| 1 | 1200 | 1132.4 | 25°C | 5.63 | MENOR A 25% |
| 2 | 1200 | 1155.8 | 25°C | 3.68 | MENOR A 25% |
| 3 | 1200 | 1160 | 25°C | 3.33 | MENOR A 25% |
| 4 | 1200 | 1151 | 25°C | 4.08 | MENOR A 25% |
| 5 | 1200 | 1148 | 25°C | 4.33 | MENOR A 25% |
| 6 | 1200 | 1140 | 25°C | 5.00 | MENOR A 25% |
| MEZCLA ASFÁLTICA CON 5 % DE FILLER DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA AZÚCAR | | | | | |
| N° DE BRIQUETA | PESOS | | TEMP. DE ENSAYO °C | PORCENTAJE DE PERDIDA (%) | ESPECIFICACIONES |
| | INICIAL | DESPUÉS DE ENSAYO | | | |
| 1 | 1200 | 1121 | 25°C | 6.58 | MENOR A 25% |
| 2 | 1200 | 1112 | 25°C | 7.33 | MENOR A 25% |
| 3 | 1200 | 1125.5 | 25°C | 6.21 | MENOR A 25% |
| 4 | 1200 | 1158 | 25°C | 3.50 | MENOR A 25% |
| 5 | 1200 | 1152 | 25°C | 4.00 | MENOR A 25% |
| 6 | 1200 | 1140 | 25°C | 5.00 | MENOR A 25% |

Fuente: Elaboración propia

4.6. Tratamiento Estadístico

Para dar validez a los resultados se utilizara la estadística descriptiva, aplicando los parámetros de media, moda, desviación típica, característica y mediana.

4.6.1. Ensayo de Estabilidad y Fluencia

Se analizaran los resultados del ensayo elaborando 9 briquetas con el contenido óptimo de asfalto de las mezclas asfálticas convencionales que es 5,55 % y 9 briquetas con los contenidos óptimos de filler de ceniza de bagazo el cual es 5% y cemento asfáltico 5,9.

Mezcla asfáltica convención al con los valores óptimos de diseño.

Tabla 128 Resultados del tratamiento estadístico MAC

| MEZCLA CONVENCIONAL | | |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| NUMERO | ESTABILIDAD (Lb) | FLUENCIA (1/100) |
| 1 | 2888.9 | 13.19 |
| 2 | 2789.4 | 12.6 |
| 3 | 2724.6 | 13.18 |
| 4 | 2539.7 | 12.59 |
| 5 | 2437.0 | 12.99 |
| 6 | 2485.6 | 12.4 |
| 7 | 2350.6 | 11.5 |
| 8 | 2600.4 | 10.6 |
| 9 | 2840.9 | 12.3 |
| SUMATORIA | 15865.2 | 76.95 |
| MEDIA (hd) | 2644.2 | 12.83 |
| DESVIACIÓN (Sd) | 182.45 | 0.34 |
| M+desv. (Límite superior) | 2826.65 | 13.16 |
| M-desv.(Límite inferior) | 2461.75 | 12.49 |

Fuente: Elaboración propia

Mezcla asfáltica con 5% de ceniza de bagazo como filler valor óptimo de diseño.

Tabla 129 Resultados del tratamiento estadístico MA con 5 % de filler de ceniza

| MEZCLA CON 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | | |
|--|-------------------------|-------------------------|
| NUMERO | ESTABILIDAD (Lb) | FLUENCIA (1/100) |
| 1 | 1880.5 | 12.6 |
| 2 | 1816.6 | 13.5 |
| 3 | 1929 | 12.6 |
| 4 | 1962.1 | 13 |
| 5 | 1896.3 | 13.8 |
| 6 | 2028.2 | 13.4 |
| 7 | 1752.7 | 13.85 |
| 8 | 1818.8 | 12.9 |
| 9 | 1840.8 | 13.8 |
| SUMATORIA | 16925 | 119.45 |
| MEDIA (hd) | 1880.56 | 13.27 |
| DESVIACIÓN (Sd) | 84.32 | 0.51 |
| M+desv. (Límite superior) | 1964.87 | 13.78 |
| M-desv.(Límite inferior) | 1796.24 | 12.76 |

Fuente: Elaboración propia

4.6.2. Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste (NLT – 159/86).

Se analizaran los resultados del ensayo elaborando 6 briquetas con el contenido óptimo de asfalto de las mezclas asfálticas convencionales y 6 briquetas con los contenidos óptimos de las briquetas con ceniza de bagazo de caña de azúcar como filler.

Mezcla asfáltica convención al con los valores óptimos de diseño.

Tabla 130 Resultados del tratamiento estadístico Ensayo de cántabro MAC

| NÚMERO | PORCENTAJE DE PERDIDA (%) |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 5.6 |
| 2 | 3.7 |
| 3 | 3.3 |
| 4 | 4.1 |
| 5 | 4.3 |
| 6 | 5 |
| SUMATORIA | 26.1 |
| MEDIA (hd) | 4.33 |
| DESVIACIÓN (Sd) | 0.85 |
| M+desv. (Límite superior) | 5.18 |
| M-desv.(Límite inferior) | 3.49 |

Fuente: Elaboración propia

Mezcla asfáltica con 5% de ceniza de bagazo como filler, valor óptimo de diseño.

Tabla 131 Resultados del tratamiento estadístico Ensayo de cántabro MA con 5 % filler de ceniza

| NÚMERO | PORCENTAJE DE PERDIDA (%) |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 6.6 |
| 2 | 7.3 |
| 3 | 6.2 |
| 4 | 3.5 |
| 5 | 4 |
| 6 | 5 |
| SUMATORIA | 32.6 |
| MEDIA (hd) | 5.43 |
| DESVIACIÓN (Sd) | 1.51 |
| M+desv. (Límite superior) | 6.94 |
| M-desv.(Límite inferior) | 3.92 |

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el análisis mediante la media aritmética y la mediana, para así poder los parámetros inferiores y superiores y validar los resultados que estén comprendidos dentro de estos parámetros.

4.6.3. Resultado del Comportamiento de las Variables

Con los resultados obtenidos en los puntos 4.1.6.2 y 4.2.6.2, podemos cuantificar y calificar las variaciones más relevantes de las variables dependientes producto de las variables independientes; con lo cual se podrá dar validez a la hipótesis planteada.

A) VARIABLES INDEPENDIENTES.

Son las variables que controló y manejo, cuyos cambios tienen un efecto directo en la variable dependiente. Para este estudio se tiene las siguientes variables independientes.

- Filler convencional (%), constante.
- Filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar (%), varios porcentajes.

B) VARIABLES DEPENDIENTES.

Factor confiable dentro del estudio cuyo comportamiento es afecto por las variables independientes.

Para evaluar el comportamiento mecánico analizamos las siguientes propiedades de la mezcla asfáltica:

- Estabilidad
- Fluencia
- % de vacíos de la mezcla.
- % V.A.M
- % R.B.V
- Densidad
- Cohesión

A continuación se muestran las tablas de resultados y relación de las variables.

Tabla 132 Relación de las Variables de Estudio

| VARIABLES DEPENDIENTES | VARIABLES DEPENDIENTES | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------------|-------|
| | DENSIDAD (g/cm ³) | % VACIOS (%) | % R.B.V (%) | % V.A.M (%) | ESTABILIDAD (Lb) | FLUENCIA (1/100") | |
| Filler convencional | 2.359 | 3.9 | 77.15 | 16.82 | 2830 | 12.3 | |
| Filler de ceniza de bagazo | 3% | 2.267 | 5.25 | 70.56 | 17.95 | 1872 | 11.6 |
| | 5% | 2.253 | 3.81 | 77.65 | 16.9 | 1828 | 13.75 |
| | 7% | 2.242 | 1.5 | 91 | 15.32 | 1355 | 23.8 |

Fuente: Elaboración propia

4.7. Validación de la Hipótesis

Se verifica que la hipótesis planteada es verdadera, ya que existen variaciones relevantes en las propiedades de la mezcla asfáltica cuando se adiciona 5% de filler de ceniza de bagazo, con este porcentaje cumple con los parámetros establecidos por la norma utilizada para el diseño, mismos que serán analizados si son favorables en el punto análisis de resultados.

4.8. Análisis de Precios Unitarios

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

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

En la investigación se realiza el costo de producción de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica con ceniza de bagazo como filler, para comparar y analizar los mismos.

4.8.1. Cálculo del Rendimiento de los Materiales

Se considera un % de esponjamiento = 30% para los agregados y el asfalto, para la ceniza se considerara un % de pérdida del 15 %.

Se determinara el rendimiento para 1 m³ de mezcla asfáltica para carpeta de rodadura.

a) Rendimiento de los materiales mezcla asfáltica convencional.

Tabla 133 Dosificación de la mezcla asfáltica óptima convencional

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA 3/4 | 19 |
| | GRAVILLA 3/8 | 28 |
| | ARENA CHANCADA CON FILLER | 47 |
| | % ASFALTO ÓPTIMO | 6 |
| | TOTAL | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Grava } 3/4 = 19\% * \frac{1,3\text{m}^3}{100\%} = 0.247 \text{ m}^3.$$

$$\text{Gravilla } 3/8 = 28\% * \frac{1,3\text{m}^3}{100\%} = 0.364 \text{ m}^3.$$

$$\text{Arena triturada con filler convencional} = 47\% * \frac{1,3\text{m}^3}{100\%} = 0.611 \text{ m}^3.$$

$$\text{Asfalto} = 6\% * \frac{1,3\text{m}^3}{100\%} = 0.078 \text{ m}^3$$

Peso específico del asfalto = 1007 kg/m³.

$$\text{Peso del asfalto} = 0.078 \text{ m}^3 * 1007 \text{ kg/m}^3 = 78,554 \text{ Kg.}$$

b) Rendimiento de los materiales mezcla asfáltica con 5 % de ceniza de Bagazo.

Tabla 134 Dosificación de la mezcla asfáltica óptima con el 5% de filler

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|------------------------------------|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 32 |
| | FILLER DE CENIZA | 17 |
| | % ASFALTO | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Grava } 3/4 = 17\% * \frac{1,3m^3}{100\%} = 0.221m^3.$$

$$\text{Gravilla } 3/8 = 28\% * \frac{1,3m^3}{100\%} = 0.364 m^3.$$

$$\text{Arena triturada sin filler} = 32\% * \frac{1,3m^3}{100\%} = 0.416 m^3.$$

$$\text{Filler de ceniza de bagazo} = 17\% * \frac{1,15m^3}{100\%} = 0.195$$

Peso específico de la ceniza = 2486kg/m³.

$$\text{Peso de la ceniza} = 0.195 m^3 * 2486 kg/m^3 = 486.03 Kg. = 0.486 tn.$$

$$\text{Asfalto} = 6\% * \frac{1,3m^3}{100\%} = 0.078 m^3 * 1007 kg/m^3 = 78.554 Kg.$$

c) Precio de los materiales

Los agregados pétreos, grava, gravilla, arena son de la Planta de Áridos Garzón, el metro cúbico cuesta 150 Bs y tienen una disponibilidad de todo el año.

El precio por Kilogramo del cemento asfáltico convencional 85-100 es de 10.50 Bs.

La ceniza de bagazo de la caña de azúcar es proveniente del Ingenio Azucarero I.A.B.S.A ubicado en el departamento de Tarija en la provincia Arce municipio Bermejo. Su producción es variable, se estima entre a 40-50 toneladas por diarias durante tiempo de zafra (135 días por año aproximadamente), su costo es económico de 50 Bs la Tonelada métrica precio puesto por I.A.B.S.A, en **ANEXO 5** se aprecia la certificación del precio de la ceniza de bagazo.

Tabla 135 Planilla de precios unitarios para la mezcla convencional

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|--|--|------------------|---|-------------------|----------------|
| DATOS GENERALES | | | | | |
| | | Proyecto | : CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO (MEZCLA CONVENCIONAL) | | |
| | | Actividad | : COLOCADO DE CARPETA | | |
| | | Cantidad | : 1 | | |
| | | Unidad | : m ³ | | |
| | | Moneda | : Bs. | | |
| 1. MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | DIESEL | Lt | 18.00 | 3.72 | 66.96 |
| 2 | ASFALTO DILUIDO=(ASF. 52%+ KEROSEN 48%) | Lt | 8.66 | 10.60 | 91.80 |
| 3 | CEMENTO ASFÁLTICO 85-100 | Kg | 78.546 | 10.50 | 824.73 |
| 4 | ARENA CON FILLER CLASIFICADA | m ³ | 0.611 | 150.00 | 91.65 |
| 5 | GRAVA TRITURADA CLASIFICADA 3/4 | m ³ | 0.247 | 150.00 | 37.05 |
| 6 | GRAVA TRITURADA CLASIFICADA 3/8 | m ³ | 0.364 | 150.00 | 54.60 |
| TOTAL MATERIALES | | | | | 1166.79 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | PEÓN | hr | 0.07 | 11.98 | 0.86 |
| 2 | CAPATAZ | hr | 1.80 | 22.60 | 40.68 |
| 3 | OPERADOR DE CAMIÓN IMPRIMADOR | hr | 0.0120 | 23.28 | 0.28 |
| 4 | AYUDANTE DE CAMIÓN IMPRIMADOR | hr | 0.008 | 15.14 | 0.12 |
| 5 | CHOFER DE LA VOLQUETA 12 M3 | hr | 0.0300 | 15.14 | 0.45 |
| 6 | AYUDANTE DE MAQUINARIA Y EQUIPOS | hr | 0.028 | 15.14 | 0.42 |
| 7 | OPERADOR DE PLANTA DE ASFALTO | hr | 0.09 | 23.28 | 2.10 |
| 8 | OPERADOR COMPACTADOR RODILLO LISO | hr | 0.35 | 20.00 | 7.00 |
| 9 | OPERADOR COMPACTADOR NEUMÁTICO | hr | 0.82 | 23.28 | 19.09 |
| 10 | OPERADOR TERMINADORA DE ASFALTO | hr | 0.820 | 18.30 | 15.01 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | | 86.02 |
| CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%) | | | | 55.00 | 47.31 |
| IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES) | | | | 14.94 | 19.92 |
| TOTAL MANO DE OBRA | | | | | 153.24 |
| 3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | PLANTA DE ASFALTO | hr | 0.01 | 964.97 | 9.65 |
| 2 | COMPACTADOR RODILLO LISO | hr | 0.035 | 304.66 | 10.66 |
| 3 | RODILLO NEUMÁTICO TSP >1000 | hr | 0.084 | 332.33 | 27.92 |
| 4 | CAMIÓN IMPRIMADOR 6000 Lt. | hr | 0.008 | 414.41 | 3.32 |
| 5 | TERMINADORA DE ASFALTO | hr | 0.075 | 683.06 | 51.23 |
| 6 | VOLQUETA 12 M3 O 20 TON | hr | 0.03 | 223.06 | 6.69 |
| * | HERRAMIENTAS MENORES = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA) | | | 5.00 | 7.66 |
| TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | | 117.13 |

| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | |
|---|--|--------------|--------------------|
| | | | COSTO TOTAL |
| * | GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3 | 12.00 | 1437.16 |
| TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | 172.46 |
| 5. UTILIDAD | | | |
| | | | COSTO TOTAL |
| * | UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4 | 10.00 | 1609.62 |
| TOTAL UTILIDAD | | | 160.96 |
| 6. IMPUESTOS | | | |
| | | | COSTO TOTAL |
| * | IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5 | 3.09 | 1770.58 |
| TOTAL IMPUESTOS | | | 54.71 |
| TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6) | | | 1825.29 |
| TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales) | | | 1825.29 |
| Son : mil ochocientos veinticinco con 29/100 Bolivianos. | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 136 Planilla de precios unitarios de la M.A con 5 % de filler de ceniza

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|--|---|----------|-------------------|-------------|
| DATOS GENERALES | | | | | |
| | Proyecto | CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO (MEZCLA CON FILLER DE CENIZA) | | | |
| | Actividad | COLOCADO DE CARPETA | | | |
| | Cantidad | 1 | | | |
| | Unidad | m3 | | | |
| | Moneda | Bs. | | | |
| 1. MATERIALES | | | | | |
| | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | DIESEL | Lt | 18.00 | 3.72 | 66.96 |
| 2 | ASFALTO DILUIDO=(ASF. 52%+ KEROLEN 48%) | Lt | 8.66 | 10.60 | 91.80 |
| 3 | CEMENTOASFÁLTICO 85-100 | Kg | 78.546 | 10.50 | 824.73 |
| 4 | ARENA LAVADA CLASIFICADA | m ³ | 0.416 | 150.00 | 62.40 |
| 5 | GRAVA TRITURADA CLASIFICADA 3/4 | m ³ | 0.221 | 150.00 | 33.15 |
| 6 | GRAVA TRITURADA CLASIFICADA 3/8 | m ³ | 0.364 | 150.00 | 54.60 |
| 7 | FILLER DE CENIZA DE BAGAZO | tn | 0.486 | 50.000 | 24.30 |
| | | | | | 1157.94 |

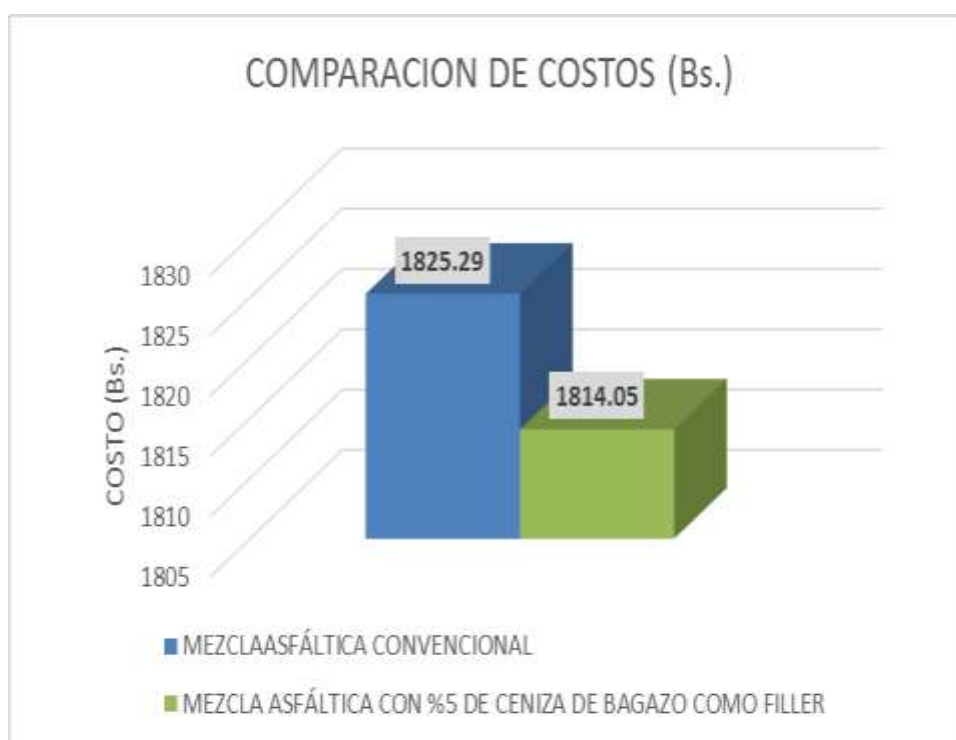
| 2. MANO DE OBRA | | | | | |
|--|--|--------|----------|-------------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | PEÓN | hr | 0.07 | 11.98 | 0.86 |
| 2 | CAPATAZ | hr | 1.80 | 22.60 | 40.68 |
| 3 | OPERADOR DE CAMIÓN IMPRIMADOR | hr | 0.0120 | 23.28 | 0.28 |
| 4 | AYUDANTE DE CAMIÓN IMPRIMADOR | hr | 0.0080 | 15.14 | 0.12 |
| 5 | CHOFER DE LA VOLQUETA 12 M3 | hr | 0.0300 | 15.14 | 0.45 |
| 6 | AYUDANTE DE MAQUINARIA Y EQUIPOS | hr | 0.0280 | 15.14 | 0.42 |
| 7 | OPERADOR DE PLANTA DE ASFALTO | hr | 0.090 | 23.28 | 2.10 |
| 8 | OPERADOR COMPACTADOR RODILLO LISO | hr | 0.35 | 20.00 | 7.00 |
| 9 | OPERADOR COMPACTADOR NEUMÁTICO | hr | 0.820 | 23.28 | 19.09 |
| 10 | OPERADOR TERMINADORA DE ASFALTO | hr | 0.8201 | 18.30 | 15.01 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | | 86.02 |
| CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% a l 71.18%) | | | | 55.00 | 47.31 |
| IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES) | | | | 14.94 | 19.92 |
| TOTAL MANO DE OBRA | | | | | 153.24 |
| 3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | PLANTA DE ASFALTO | hr | 0.01 | 964.97 | 9.65 |
| 2 | COMPACTADOR RODILLO LISO | hr | 0.035 | 304.66 | 10.66 |
| 3 | RODILLO NEUMÁTICO TSP >1000 | hr | 0.084 | 332.33 | 27.92 |
| 4 | CAMIÓN IMPRIMADOR 6000 Lt. | hr | 0.008 | 414.41 | 3.32 |
| 5 | TERMINADORA DE ASFALTO | hr | 0.075 | 683.06 | 51.23 |
| 6 | VOLQUETA 12 M3 O 20 TON | hr | 0.03 | 223.06 | 6.69 |
| * | HERRAMIENTAS MENORES = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA) | | | 5.00 | 7.66 |
| TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | | 117.13 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | | |
| | | | | | COSTO TOTAL |
| * | GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3 | | | 12.00 | 1428.31 |
| TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | | 171.40 |
| 5. UTILIDAD | | | | | |
| | | | | | COSTO TOTAL |
| * | UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4 | | | 10.00 | 1599.71 |
| TOTAL UTILIDAD | | | | | 159.97 |
| 6. IMPUESTOS | | | | | |
| | | | | | COSTO TOTAL |
| * | IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5 | | | 3.09 | 1759.68 |
| TOTAL IMPUESTOS | | | | | 54.37 |
| TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6) | | | | | 1814.05 |
| TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales) | | | | | 1814.05 |
| Son : mil ochocientos catorce con 05/100 Bolivianos. | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 136 Comparación de costos de las mezclas

| COSTO POR METRO CÚBICO (Bs) | | | |
|--|---------------|---------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTO EN (Bs) | DIFERENCIA Bs | DIFERENCIA % |
| MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL | 1825.29 | 11.24 | 0.62 |
| MEZCLA ASFÁLTICA CON % 5 DE CENIZA DE BAGAZO | 1814.05 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 58 Diagrama de costos de las dos mezclas

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 57 y Tabla 137 se puede observar los costos para la producción de la mezcla asfáltica con ceniza de bagazo como filler es más económica que la convencional, con 11.24 Bs por metro cúbico, en grandes volúmenes significa una optimización económica para su construcción.

Por ejemplo a continuación se muestra el cálculo del volumen de mezcla asfáltica por metro cubico para una carretera Primaria con un tránsito inicial anual esperado de 10×10^6 ESALs, con una capa de rodadura de 10 cm de espesor, bidireccional con un ancho de carril de 3,65 m para analizar mejor la diferencia de costos.

1) Determinación del volumen de mezcla asfáltica por metro cúbico.

Vol. De mezcla asfáltica para 1 m de carretera= $2 \times 3,65 \text{ m} \times 1 \times 0,10 \text{ m} = 0,73 \text{ m}^3$

Considerando una pérdida por esponjamiento de 30%

Vol.= $0,73 \text{ m}^3 \times 1,3 = 0,95 \frac{\text{m}^3}{\text{m}}$.

Vol por 1 km= $0,95 \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{km}} = 950 \frac{\text{m}^3}{\text{km}}$.

2) Análisis del costo

Para obtener mejor la comparación económica entre la M.A convencional y la M.A optima con filler de ceniza de bagazo, se analiza la comparación de costo por kilómetro.

Tabla 137 Comparación de costos de las M.A para un Km de pavimento

| COSTO PARA 1 Km de carretera (Bs) | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------------|------------|-----------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTO POR m ³ | VOL. (m ³) POR KM | TOTAL (Bs) | DIFERENCIA (Bs) |
| MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL | 1825.29 | 950 | 1734025.50 | 10678 |
| MEZCLA ASFÁLTICA CON %5 DE CENIZA DE BAGAZO | 1814.05 | | 1723347.50 | |

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la tabla que se ahorra con la mezcla con filler de ceniza 10678 Bs por 1 km de carretera, factor de mucha importancia ya que se obtiene un mejor pavimento a menor costo, que es lo que se busca en todo estudio al adicionar nuevos materiales.

4.9. Análisis de Resultados

- De acuerdo a los resultados de las curvas de diseño Marshall, se determinó mejor comportamiento de las propiedades de la mezcla asfáltica para el 5% de filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar; ya que cumple con todos los parámetros establecidos para la fórmula de trabajo “C” que corresponde para tráfico pesado, valores que se muestran a continuación en la tabla siguiente con resultados validados.

Tabla 138 Diseño 2 para el 5 % de filler de ceniza de bagazo.

| VALORES | | | | |
|------------------|--------------|---|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO | OBTENIDOS DE GRÁFICOS | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,98 | 2,255 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,76 | 4,0 | 3 | 5 |
| R.B.V. | 5,97 | 78,5 | 75 | 82 |
| V.A.M | 6,00 | 16,9 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,95 | 1840,0 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,50 | 11,0 | 8 | 14 |
| PROMEDIO (%) | 5,86 | Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas | | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO.

Se puede observar que cumple con todas las propiedades exigidas por el método Marshall, lo cual nos garantiza la producción de un buen pavimento seguro y duradero.

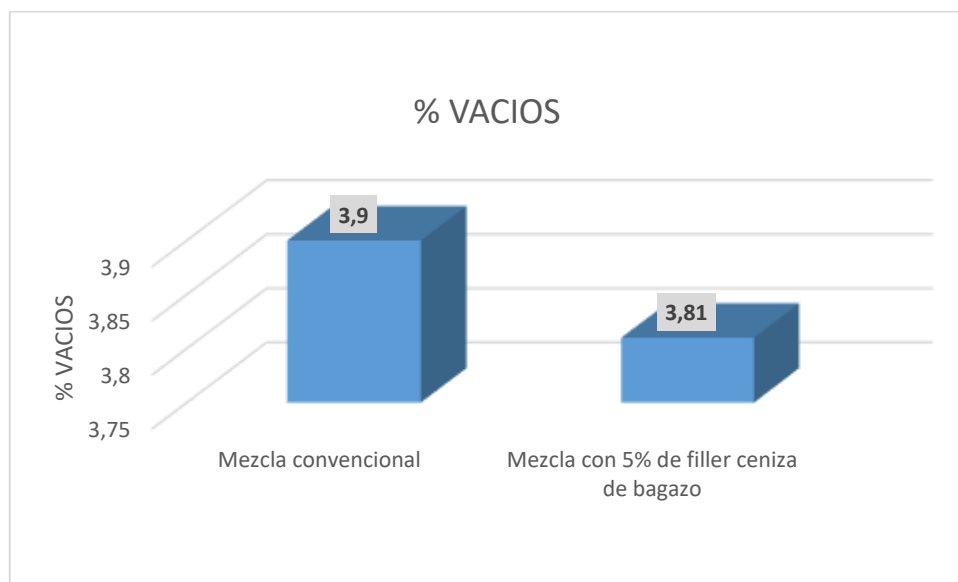
Con el porcentaje de 3% de filler de ceniza, se obtiene mejor resultado en sus propiedades de estabilidad, fluencia, % V.A.M, las propiedades con la que no cumple son % VACÍOS, % R.B.V, lo que ocasiona que se produzcan pasajes en la mezcla por los cuales entra fácilmente el agua y el aire causando oxidación, desintegración en la mezcla y envejecimiento temprano.

Mientras que para la combinación con 7 % de filler de ceniza, no cumple con la estabilidad y fluencia, la fluencia se excede con 70% y la estabilidad está por debajo

del 13,6 % del valor mínimo de diseño. Esto se debe al exceso de filler de ceniza, su fluencia aumenta por el contenido de puzolana de la ceniza que es un aglomerante natural.

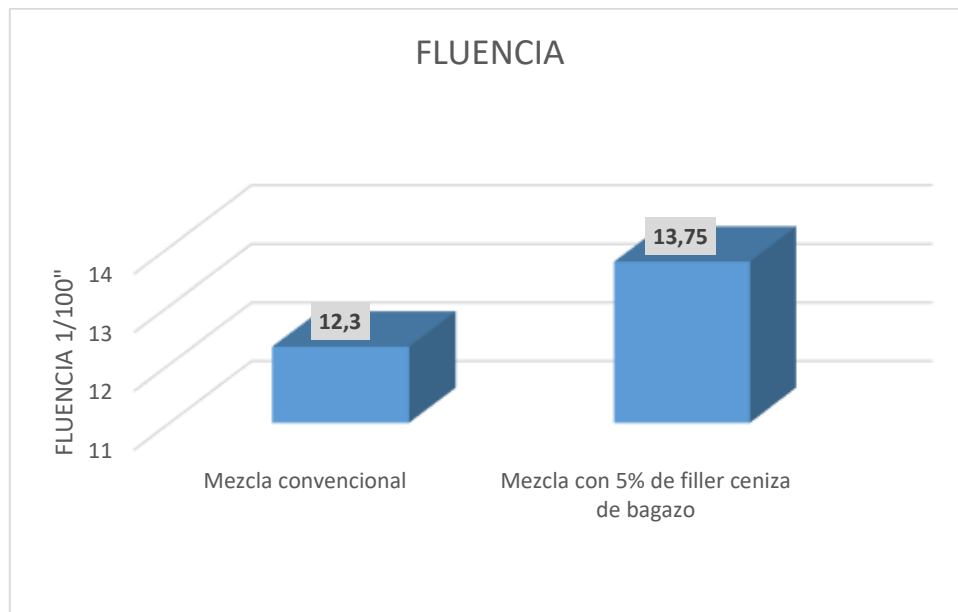
- Las mejoras respecto a la mezcla convencional que se obtuvieron al adicionar la ceniza de bagazo de caña de azúcar a la mezcla asfáltica, se ven reflejadas en las propiedades de: % VACÍOS, % VAM, FLUENCIA, DENSIDAD, % R.B.V; los mismos que se explican en las siguientes graficas debido a que se producen estas mejoras.

Figura 59 Comparación de los % de vacíos de las mezclas



Fuente: Elaboración propia

Se reduce el % de vacíos un 2.31 % respecto a la mezcla convencional, factor importante ya que al disminuir los vacíos se disminuye la porosidad, permeabilidad, penetrabilidad del aire, agua en el pavimento, por lo tanto el asfalto se oxida más lento y tiene mayor durabilidad y reduce la posibilidad de desintegración del pavimento por la acción del agua. Con % de vacíos menor a 3% puede originar que la mezcla exude y se produzca ahuellamientos a altas temperaturas. Esto es producto por el contenido de finos en la mezcla.

Figura 60 Comparación de la fluencia de las mezclas

Fuente: Elaboración propia

Aumenta la fluencia un 11,79 % con respecto a la mezcla convencional factor que brinda mayor confort a los usuarios, esto se debe a que la ceniza de bagazo de la caña de azúcar contiene 52 % de óxido de sílice valor determinado mediante un análisis químico que se muestra en el punto 2.3.1.3.4, este elemento químico procede de la celulosa y son parte de la estructura de los suelos, poseen aniones y cationes que tienen la propiedad de deformarse y recuperar su forma inicial produciendo los daños menos posibles.

La mezcla convencional presenta fluencia más baja y estabilidad mayor que la mezcla con filler de ceniza, esto nos dice que es una mezcla más frágil y rígida para un pavimento en servicio.

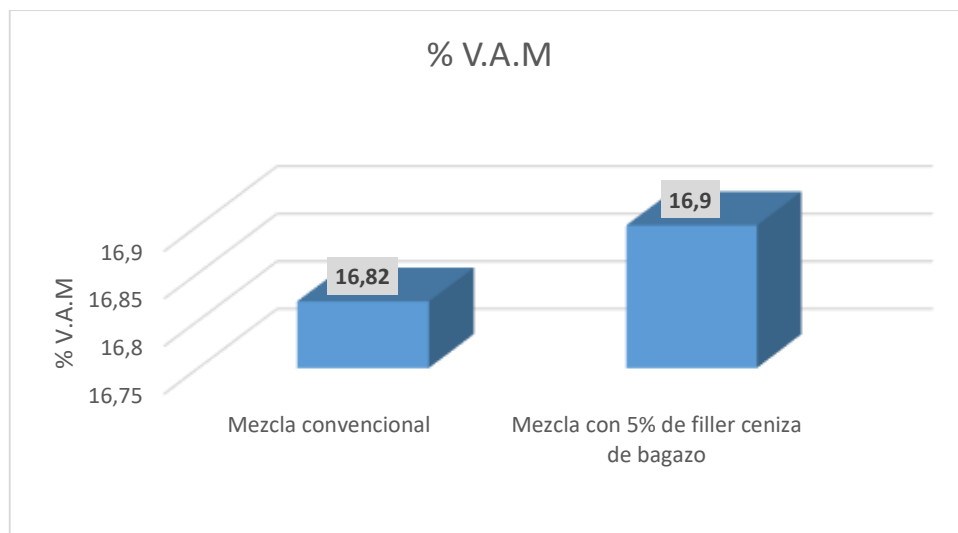
Figura 61 Comparación de la densidad de las mezclas



Fuente: Elaboración propia

Se reduce la densidad con respecto a la mezcla asfáltica convencional, la densidad es un factor muy importante debido a que está directamente relacionado con el contenido de vacíos, al reducir la densidad se reducen los vacíos, lo que nos da un asfalto con mayor durabilidad. También se tiene un pavimento menos rígido que se complementa con la fluencia y vacíos produciendo una carpeta de rodadura de mayor confort.

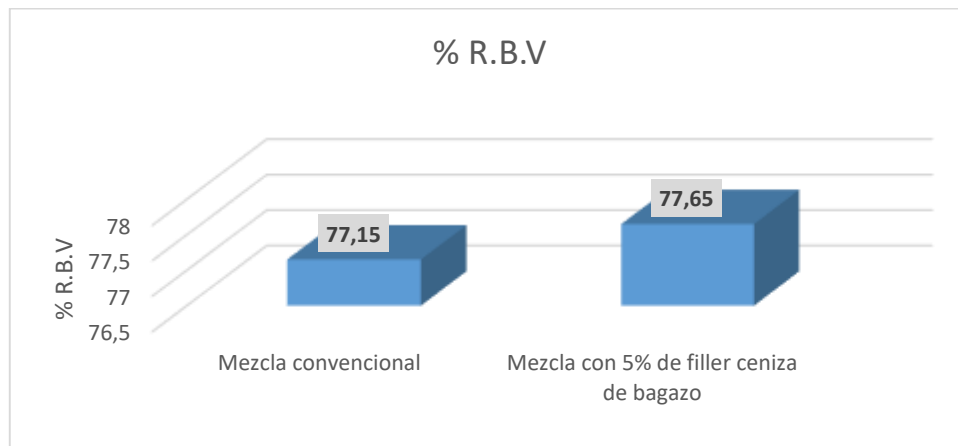
Figura 62 Comparación de los % V.A.M de las mezclas



Fuente: Elaboración propia

Aumenta el % de V.A.M 0.48 % respecto a la mezcla asfáltica convencional, lo que nos indica un buen valor para diseño porque si estaría debajo del 15 % causaría poco espacio para acomodar el volumen efectivo del asfalto y causaría ahuellamientos.

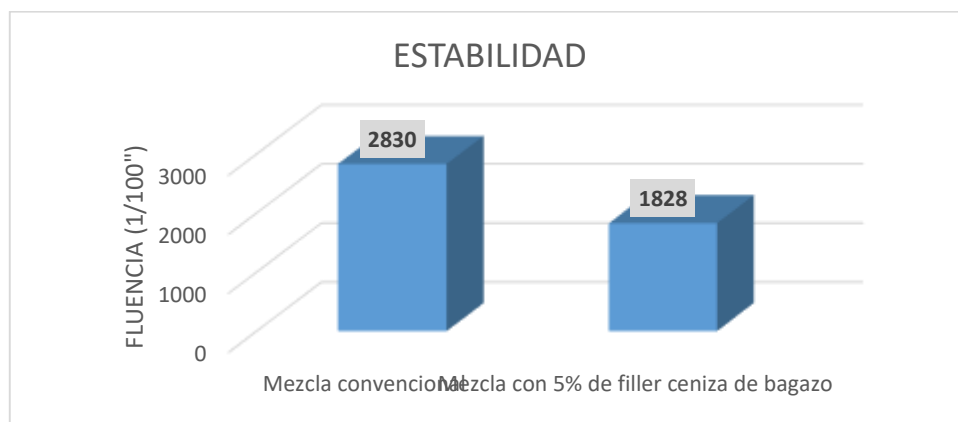
Figura 63 Comparación de los % R.B.V de las mezclas



Fuente: Elaboración propia

El % R.B.V aumenta un 0.65 % la mezcla asfáltica con 5 % de filler de ceniza respecto a la mezcla convencional, resultado favorable por que se acerca al valor ideal para mezclas asfálticas que es 78,5 %, solo varia 1,08 %.

Figura 64 Comparación de la Estabilidad de las mezclas



Fuente: Elaboración propia

En la estabilidad no hay mejoras respecto a la mezcla convencional, más bien disminuye 35.41 %, pero cumple con el parámetro normativo, esto se debe a la falta de mayor cantidad de elementos fuertes, resistentes como el Dióxido de Silice y el hierro que se encuentran en la ceniza de bagazo y forman parte de la puzolana. La estabilidad debe ser de acuerdo al tránsito esperado, si es muy alta produce un pavimento más rígido y menos durable.

- Se determinó que a mayor cantidad de filler de ceniza de bagazo se adiciona más asfalto, esto se debe a que la ceniza es un limo fino, que se absorbe al asfalto como se puede observar en los porcentajes óptimos de asfalto correspondientes a las diferentes adiciones realizadas de filler en el presente estudio; a continuación se muestran las tablas que respaldan lo afirmado.

Tabla 139 Diseño 1 para el 3 % de filler de ceniza de bagazo.

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--------------------------------|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 40 |
| | FILLER DE CENIZA | 9 |
| | % ASF. OTP. | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 140 Diseño 2 de la mezcla asfáltica óptima con el 5% de filler

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--------------------------------|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 32 |
| | FILLER DE CENIZA | 17 |
| | % ASFALTO | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia

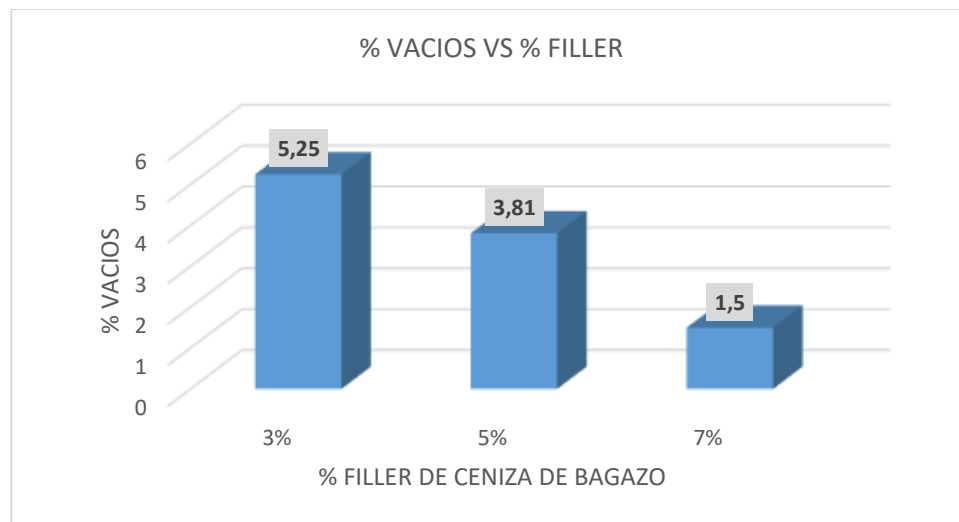
Tabla 141 Diseño 3 para el 7 % de filler de ceniza de bagazo.

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--------------------------------|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 25 |
| | FILLER DE CENIZA | 24 |
| | % ASFALTO | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia

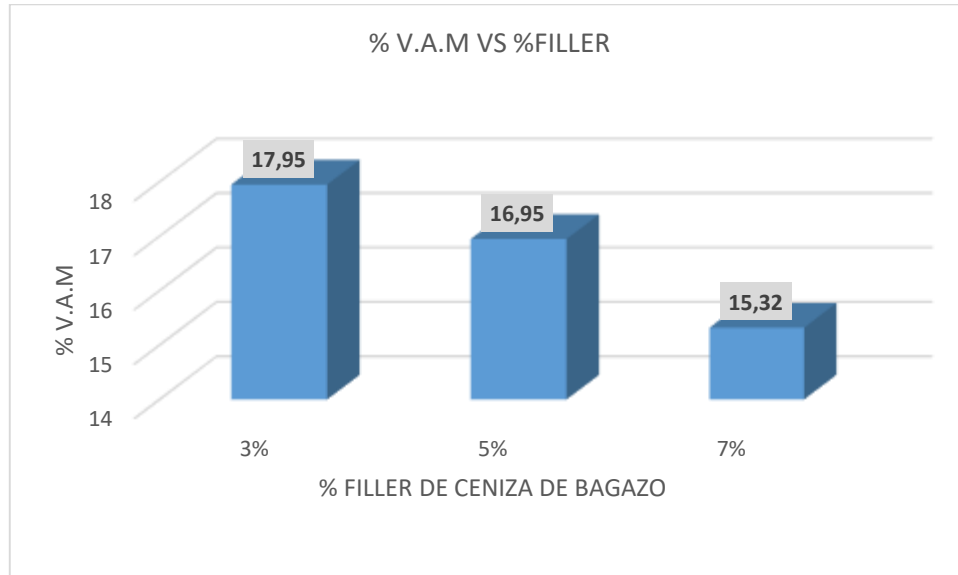
Al aumentar el filler también se reduce el porcentaje de los agregados gruesos y finos.

- De acuerdo al análisis del comportamiento de la ceniza de bagazo como filler, se demuestra que a mayor cantidad de filler se reducen los vacíos en las mezclas asfálticas, esto se debe a que al incorporar el filler se mezcla con el ligante formando una masa asfáltica que envuelve a los agregados y hace más rígida la mezcla disminuyendo vacíos como se puede apreciar en las siguientes gráficas.

Figura 65 Diagrama de barras % Vacíos VS % Filler

Fuente: Elaboración propia

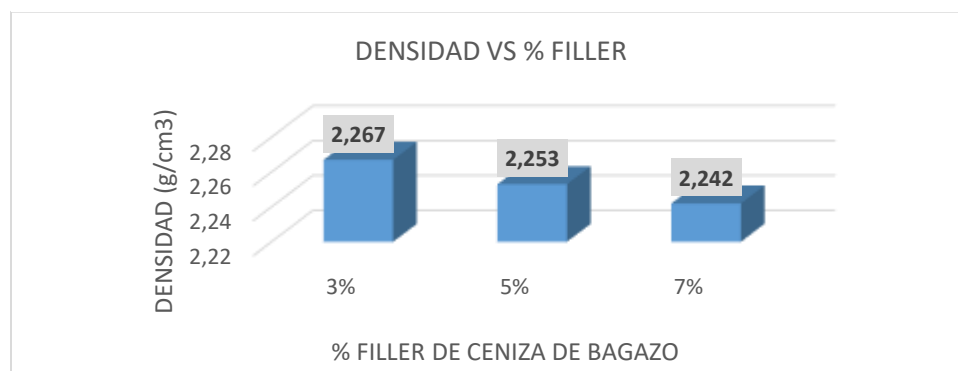
Figura 66 Diagrama de barras % V.A.M. VS Filler



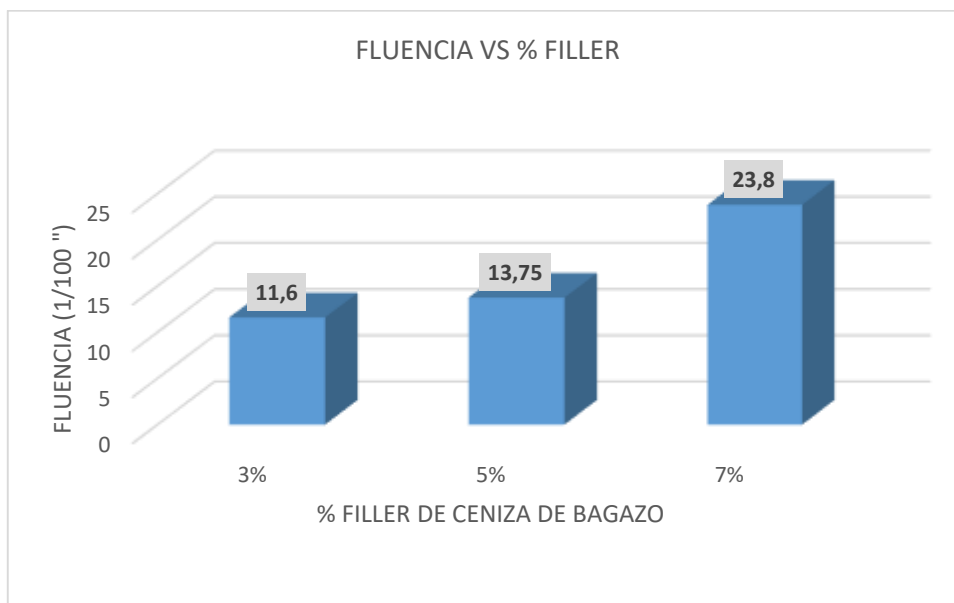
Fuente: Elaboración propia

- Al aumentar filler de ceniza de bagazo aumenta la fluencia en la mezcla debido al su contenido de puzolana y la densidad disminuye por que los vacíos disminuyen y ambos están relacionados. Como se puede observar en los siguientes diagramas.

Figura 67 Diagrama de barras Densidad VS % Filler



Fuente: Elaboración propia

Figura 68 Diagrama de barras Fluencia VS Filler

Fuente: Elaboración propia

- Al adicionar ceniza de bagazo como filler se reduce la cantidad de agregados gruesos y finos respecto a la mezcla convencional, el agregado fino es el que más disminuye con un 15 %, lo cual al elaborar gran cantidad de metros cúbicos de mezcla asfáltica nos abarata costos, a continuación se pueden apreciar las dosificaciones óptimas de la mezcla convencional y con filler de ceniza de bagazo para verificar lo mencionado.

Tabla 142 Diseño 2 de la mezcla asfáltica óptima con el 5% de filler

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|------------------------------------|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 32 |
| | FILLER DE CENIZA | 17 |
| | % ASFALTO | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

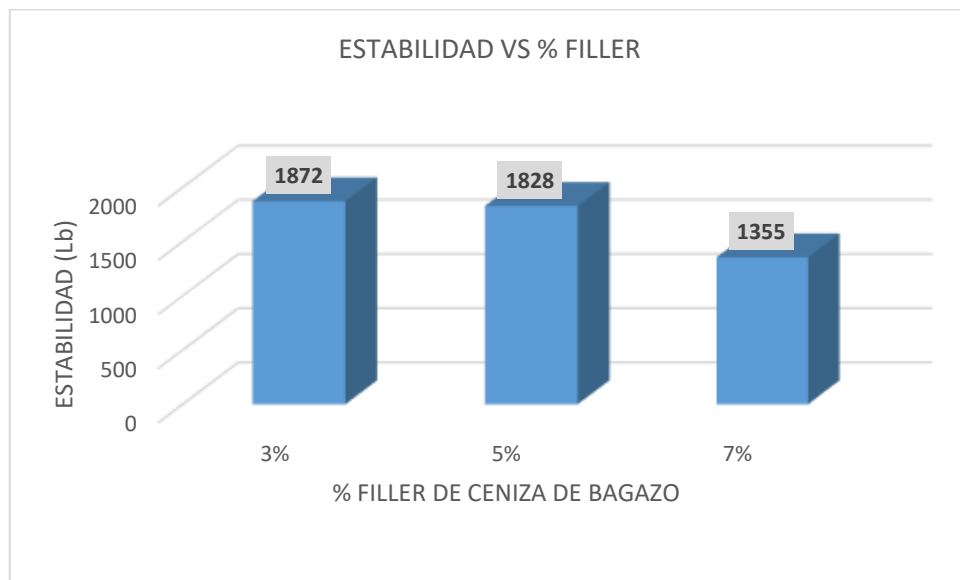
Fuente: Elaboración propia

Tabla 143 Diseño de la mezcla asfáltica optima convencional

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA 3/4 | 19 |
| | GRAVILLA 3/8 | 28 |
| | ARENA CHANCADA CON FILLER | 47 |
| | % ASFALTO ÓPTIMO | 6 |
| | TOTAL | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia

- La estabilidad disminuye al aumentar filler de ceniza, por falta de dióxido de sílice y hierro que es un elemento resistente que se encuentra en los suelos. Pero cumple con los parámetros de diseño para tráfico pesado, lo valores se muestra a continuación en la gráfica.

Tabla 144 Diagrama de barra Estabilidad VS Filler

Fuente: Elaboración propia

- En el ensayo de cántabro para evaluar la cohesión que es la propiedad que tiene la mezcla para resistir las sollicitaciones de cargas de tránsito, la mezcla asfáltica convencional sufre el 4,3 % de desgaste y la que contiene 5% de ceniza de

bagazo como filler sufre el 5,3 % de desgaste, ambas cumple con lo establecido por norma que debe ser menor al 25 % por lo que garantizan la durabilidad al tránsito que circulará sobre la mezcla.

- En el análisis económico del costo por metro cubico de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla optima con 5% de filler de ceniza de bagazo, se observó que es más económica la mezcla con filler de ceniza que la convencional presentado un ahorro de 11,24 Bs que corresponde al 0,63 % por metro cubico de mezcla asfáltica, lo que demuestra la convivencia de la utilización de la misma y teniendo en cuenta que por sus propiedades tendrá mayor vida útil.

CAPITULO V

“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se determinó el comportamiento de las mezclas asfálticas influenciado por las cenizas de celulosas como filler, obteniendo mejoras en la mezcla asfáltica en las propiedades de: % vacíos, fluencia, densidad, % R.B.V cuando se adiciona 5 % de cenizas como filler, como se indica en el siguiente cuadro:

Tabla 145 Comparación de las propiedades de la M.A convencional con la M.A con 5 % de filler de ceniza de bagazo

| DESCRIPCIÓN | PROPIEDADES OBTENIDAS MEDIANTE MARSHALL | | | | | |
|---|---|----------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|
| | ESTABILIDAD (Lb) | FLUENCIA (1/100") | % VACIOS (%) | % R.B.V (%) | % V.A.M (%) | DENSIDAD (g/cm3) |
| MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL | 2830 | 12.3 | 3.9 | 77.15 | 16.82 | 2.39 |
| MEZCLA ASFÁLTICA CON 5% DE CENIZA DE BAGAZO | 1828 | 13.75 | 3.81 | 77.65 | 16.9 | 2.25 |
| ESPECIFICACIONES | > 1800 Lb | 8--14 | 3--5 | 75--82 | 15 Mín | -- |
| DIFERENCIA PORC. (%) | 35.41 | 11.79 | 2.31 | 0.65 | 0.48 | 5.86 |
| MEJORAS | | | / | / | / | / |

Fuente: Elaboración propia

Aumenta la fluencia un 11,79 % respecto a la mezcla convencional factor que brinda mayor confort a los usuarios. La mezcla convencional presenta fluencia más baja y estabilidad mayor, esto nos dice que es una mezcla más frágil y rígida para un pavimento en servicio.

Se reduce el % de Vacíos 2.31 % respecto a la mezcla convencional, lo que disminuye la permeabilidad provocando que el aire, agua no entren con facilidad al pavimento reduciendo así la oxidación, desintegración de la mezcla por acción del agua.

Aumenta % de R.B.V 0.65 % respecto a la mezcla convencional, resultado favorable por que se acerca al valor ideal para mezclas asfálticas que es 78,5 %, solo varía 1.08 %.

Aumenta el % V.A.M 0.48 % respecto a la mezcla asfáltica convencional, cumple con lo establecido por diseño, si estaría debajo del 15 % causaría ahuellamientos y envejecimiento prematuro. Se considera mejor que el valor de la mezcla convencional por que el de esta, está muy cerca del mínimo.

Se reduce la densidad 5.86 % con respecto a la mezcla asfáltica convencional, la densidad es un factor muy importante debido a que está directamente relacionado con el contenido de vacíos, al reducir la densidad se reducen los vacíos, lo nos da un asfalto con mayor durabilidad.

En la estabilidad no hay mejoras respecto a la mezcla convencional, más bien disminuye 35.41 %, pero cumple con el parámetro normativo establecido para su diseño.

- Se desarrolló el tema de mezclas asfálticas en el capítulo II, adquiriendo los conocimientos normativos de diseño, ensayos de control, con el mismo que realizamos el desarrollo práctico en el capítulo III y IV cumpliendo con las especificaciones.
- Caracterizamos satisfactoriamente los componentes para el diseño de la mezcla asfáltica, agregados pétreos, cemento asfáltico, ceniza de bagazo como filler, verificando el cumplimiento de los mismos según la normativa del Manual de la ABC, AASHTO, ASTM y NTL, resultados que se indican en el cuadro:

Tabla 146 Caracterización del agregado fino y filler de ceniza

| AGREGADO FINO | | | |
|-----------------------|-------------------|------|--------|
| EQUIVALENTE ARENA | % | 70.2 | >45 |
| PESO ESPECÍFICO | g/cm ³ | 2.73 | ---- |
| DURABILIDAD | % | 1.19 | 12 máx |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | % | NP | NP |
| FILLER | | | |
| PESO ESPECÍFICO | g/cm ³ | 2.49 | ---- |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | % | NP | NP |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 147 Caracterización del agregado grueso

| AGREGADO GRUESO | | | |
|-----------------------------|-------------------|------------|------------------------------|
| ENSAYOS | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIONES ASHTOO-ASTM |
| CARAS FRACTURADAS 3/4 | % | 79.5 | >75 |
| CARAS FRACTURADAS 3/8 | % | 76.5 | >75 |
| LAMINADAS 3/4 | % | 2.2 | 15 máx |
| LAMINADAS 3/8 | % | 6.22 | 15 máx |
| CHATAS Y ALARGADAS 3/4 | % | 4.22 | 10 máx |
| CHATAS Y ALARGADAS 3/8 | % | 2.2 | 10 máx |
| DESGASTE DE LOS ÁNGELES 3/4 | % | 27.08 | 35 máx |
| DESGASTE DE LOS ÁNGELES 3/8 | % | 21.76 | 35 máx |
| PESO ESPECÍFICO 3/4 | g/cm ³ | 2.68 | ----- |
| PESOSPECÍFICO 3/8 | g/cm ³ | 2.65 | ----- |
| DURABILIDAD | % | 7.64 | 12 máx |

Fuente: Elaboración propia

- La ceniza de bagazo de la caña de azúcar como filler cumple con los requisitos establecidos por normativa. En sus propiedades físicas presenta un tamaño nominal adecuado ya que al mezclarse con la arena se ajusta bien a la curva granulométrica de diseño, su peso específico está dentro del rango de los demás agregados, su porcentaje de absorción es bajo y es un material no plástico requisito indispensable como filler. En sus características químicas no contiene materia orgánica primer requisito que debe cumplir, contenido elevado de residuos insolubles indicador de su estabilidad ante el agua, mayor contenido

de dióxido de silicio que sus demás elementos químicos, compuesto que forma parte de la puzolana que es un aglomerante natural. Se recomienda el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como filler, reflejando la adición del 5 % de filler mejoras en algunas propiedades con respecto a la mezcla convencional.

- Se realizó con éxito la dosificación y elaboración de briquetas mediante el método Marshall, evaluando sus propiedades mediante la realización de las gráficas que indica el método, variando los porcentajes de filler obteniendo los siguientes resultados que se muestra a continuación en los cuadros:

Tabla 148 Diseño 1 para el 3 % de filler de ceniza de bagazo.

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO ÓPTIMO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,64 | 2,267 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,64 | 5,25 | 3 | 5 |
| %R.B.V. | 5,64 | 70,56 | 75 | 82 |
| %V.A.M | 5,64 | 17,95 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,64 | 1872 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,64 | 11,60 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 5,6 | |

Criterios de la normativa AASHTO

Se obtiene mejor resultado en sus propiedades de estabilidad, fluencia, % V.A.M, las propiedades con la que no cumple son % vacíos, % R.B.V lo que ocasiona pasajes en la mezcla por los cuales entra fácilmente el agua y el aire causando oxidación, desintegración en la mezcla y envejecimiento temprano. DISEÑO DESCARTADO PARA TRÁFICO PESADO.

Tabla 149 Diseño 2 para el 5 % de filler de ceniza de bagazo.

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO ÓPTIMO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,86 | 2,253 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,86 | 3,81 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5,86 | 77,65 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5,86 | 16,90 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,86 | 1828 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,86 | 13,75 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 5,9 | |

Criterios de la normativa AASHTO

Es la combinación que presenta mejores resultados, cumple con todas las propiedades exigidas por el método Marshall, lo cual nos garantiza la producción de un buen pavimento. DISEÑO ACEPTADO PARA TRÁFICO PESADO.

Tabla 150 Diseño 3 para el 7 % de filler de ceniza de bagazo.

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO ÓPTIMO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 6,31 | 2,242 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 6,31 | 1,50 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 6,31 | 91,00 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 6,31 | 15,32 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 6,31 | 1355 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 6,31 | 23,80 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 6,3 | |

Fuente: Criterios de la normativa AASHTO

En este caso se observa que solo cumple con una sola propiedad que es %V.A.M, la fluencia aumenta considerablemente un 70 % debido al exceso de filler de ceniza de bagazo y su estabilidad se reduce bastante por debajo del 13.6 % de su parámetro mínimo. DISEÑO DESCARTADO PARA TRÁFICO PESADO.

- Se establece con éxito la dosificación óptima de diseño de la mezcla asfáltica con el 5% de filler de ceniza de bagazo de caña de azúcar, mediante la realización de gráficos obteniendo el mejor comportamiento de sus propiedades en dicho porcentaje de filler, resultado que se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 151 Diseño 2 de la mezcla asfáltica óptima con el 5% de filler

| OBSERVACIONES: | MATERIALES | % |
|--------------------------------|------------------|---------------|
| MEZCLA BITUMINOSA TOTAL | GRAVA | 17 |
| | GRAVILLA | 28 |
| | ARENA SIN FILLER | 32 |
| | FILLER DE CENIZA | 17 |
| | % ASFALTO | 6 |
| | TOTAL | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia

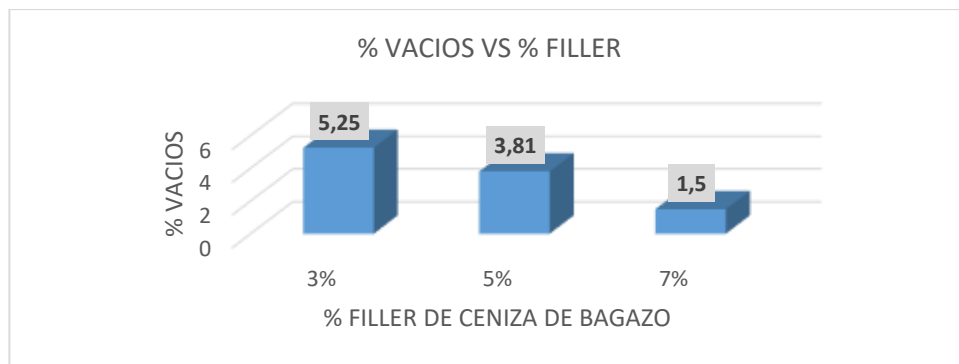
Tabla 152 Diseño 2 para el 5 % de filler de ceniza de bagazo.

| VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | % DE ASFALTO ÓPTIMO | VALORES CON EL % ÓPTIMO | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
| DENSIDAD | 5,86 | 2,253 | ----- | ----- |
| % VACÍOS | 5,86 | 3,81 | 3 | 5 |
| % R.B.V. | 5,86 | 77,65 | 75 | 82 |
| % V.A.M | 5,86 | 16,90 | 15 | |
| ESTABILIDAD (Lb) | 5,86 | 1828 | > 1800 Lb. (75 Golpes) | |
| FLUENCIA 1/100" | 5,86 | 13,75 | 8 | 14 |
| % OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO | | | 5,9 | |

Criterios de la normativa AASHTO

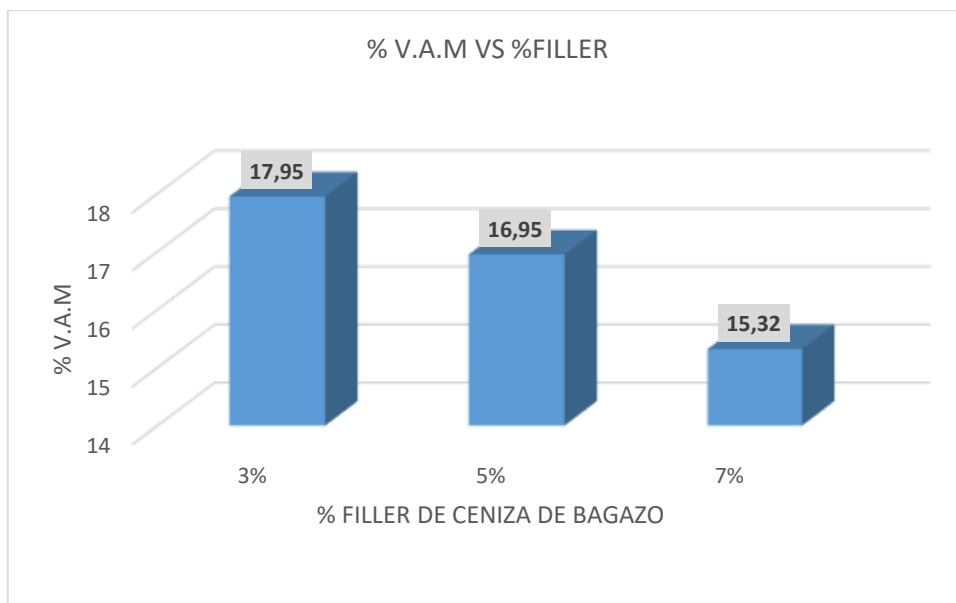
- Se comprueba que a mayor cantidad de filler se reduce la densidad y el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica pero la fluencia aumenta. Factores favorables porque al disminuir vacíos aumenta la durabilidad de la mezcla y la fluencia da confort al pavimento siempre y cuando este dentro de los parámetros de diseño como se muestran a continuación en los diagramas de barras que respaldan lo afirmado:

Figura 69 Diagrama de barras % Vacíos VS % Filler



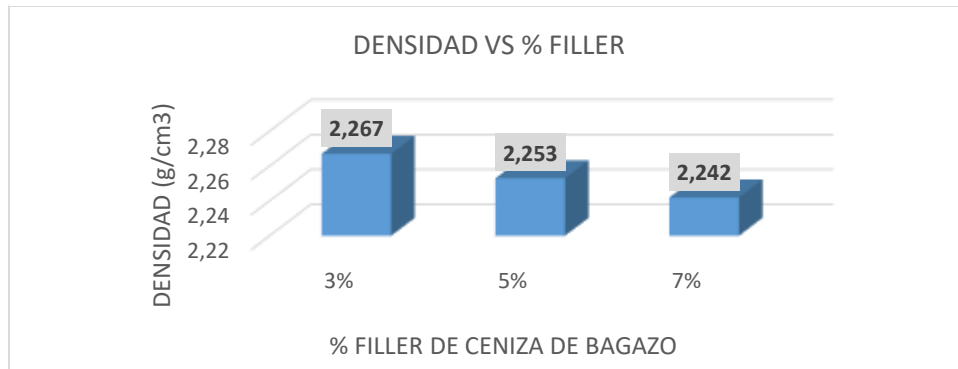
Fuente: Elaboración propia

Figura 70 Diagrama de barras % V.A.M. VS Filler



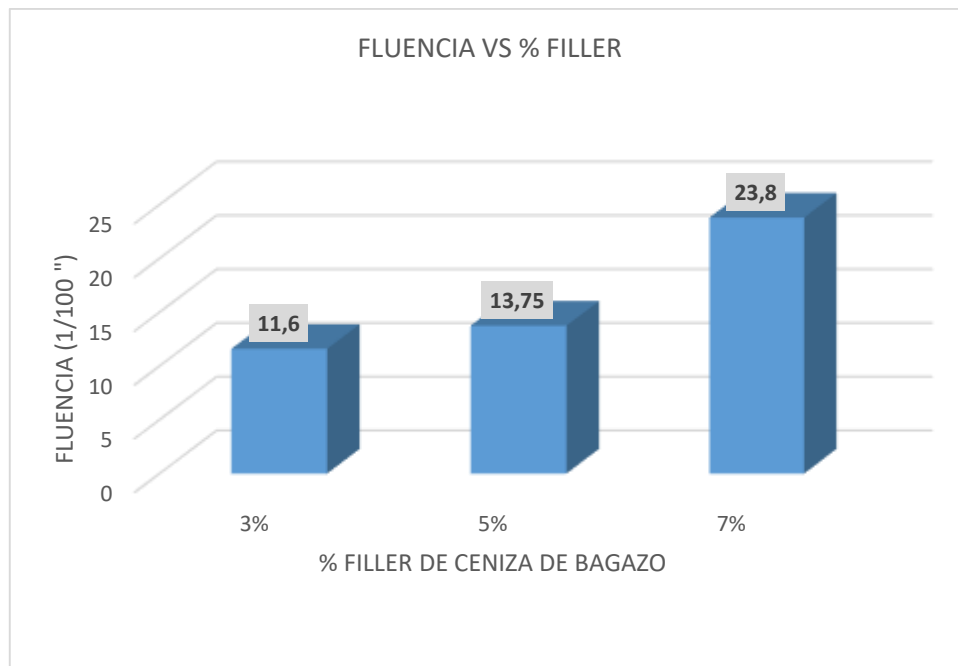
Fuente: Elaboración propia

Figura 71 Diagrama de barras Densidad VS % Filler



Fuente: Elaboración propia

Figura 72 Diagrama de barras Fluencia VS Filler



Fuente: Elaboración propia

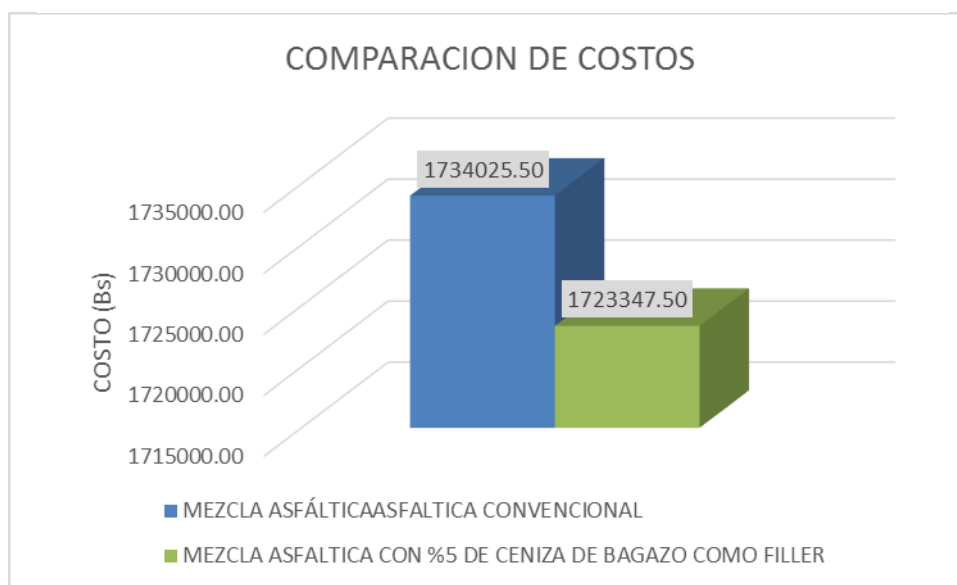
- Se realizó un análisis económico comparativo entre el costo por metro cubico entre la mezcla asfáltica convencional y con %5 de filler de ceniza de bagazo, en base a las cantidades calculadas de los materiales para cada dosificación,

estableciendo que es más económica la mezcla con filler de ceniza que la convencional presentado un ahorro de 11,24 Bs que representa el 0.62 % por metro cubico de mezcla asfáltica. Este ahorro se ve reflejado al construir grandes longitudes de pavimento, por ejemplo para una carretera Primaria bidireccional de 3.65 m de ancho de carril y 10 cm de espesor de asfalto su rendimiento para un metro de pavimento se necesita un metro cubico de mezcla asfáltica, resultando el ahorro por un kilómetro de asfaltado de 10678 Bs en su construcción, resultados que se indican en los siguientes cuadros.

| COSTO PARA 1 Km de carretera (Bs) | | | | |
|--|--------------------------|-------------------------------|------------|-----------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTO POR m ³ | VOL. (m ³) POR KM | TOTAL (Bs) | DIFERENCIA (Bs) |
| MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL | 1825.29 | 950 | 1734025.50 | 10678 |
| MEZCLA ASFÁLTICA CON %5 DE CENIZA DE | 1814.05 | | 1723347.50 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 73 Gráfica de comparación de costos de las mezclas



Fuente: Elaboración propia

- Se determinó la pérdida por desgaste mediante ensayo de cántabro evaluando la cohesión que es la propiedad que tiene la mezcla para resistir las sollicitaciones de cargas de tránsito, la mezcla con 5 % de ceniza de bagazo como filler tiene 5,3 % de desgaste y la mezcla asfáltica convencional sufre el 4,3 % de desgaste, ambas cumple con lo establecido por norma que debe ser menor al 25 % por lo que garantizan su durabilidad.
- Haciendo un balance general del comportamiento de la mezcla con ceniza de celulosa respecto a la mezcla convencional podemos afirmar de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio, que se tiene las siguientes mejoras:
 1. Mayor durabilidad, ya que se disminuye la permeabilidad reduciendo el ingreso del aire y agua que dañan la mezcla esto se da por la disminución de vacíos en la mezcla.
 2. Permitirá un mejor sellado de las fisuras evitando su propagación y a la larga mejor resistencia al envejecimiento.
 3. Se reduce la densidad, la densidad es un factor muy importante debido a que está directamente relacionado con el contenido de vacíos, al reducir la densidad se reducen los vacíos.
 4. Aumenta la fluencia un 11,79 % factor que brinda mayor confort a los usuarios, siempre y cuando este parámetro este dentro de lo establecido para su diseño.
 5. Disminuye el costo en la construcción de pavimentos 0.63 %, ahorro que se ve reflejado en la construcción de grandes volúmenes de mezclas.
- Finalmente concluimos con el estudio cumpliendo con los objetivos y validando nuestra hipótesis planteada al determinar con precisión el efecto de las propiedades de las mezclas asfálticas con ceniza de celulosa como filler, verificando que si existen mejoras en algunas propiedades ya mencionadas, por lo cual se sugiere que se realicen investigaciones de mayor alcance para así poder contribuir al desarrollo de la Ingeniería Civil.

5.2. Recomendaciones

- Observando las pruebas de laboratorio realizadas en las mezclas asfálticas tanto convencional como ceniza de bagazo de caña de azúcar como filler, se puede decir que el asfalto con ceniza de bagazo de caña de azúcar como filler, es recomendable para lugares alta humedad y llueva constantemente ya posee menos cantidad de vacíos y se reduce el daño producido por el agua.
- La ceniza de bagazo también se puede utilizar como parte de porcentaje de arenas en lugares donde no haya arenas con contenido de finos, ya que la ceniza presenta buenas propiedades como material fino especialmente como filler.
- Se recomienda utilizar ceniza de bagazo de caña de azúcar como filler en zonas donde no se tenga agregados finos o se limiten de filler, por ejemplo agregados de canto rodado.
- Controlar la temperatura del agregado y del cemento asfáltico al momento de realizar la mezcla asfáltica para así obtener buenos resultados.
- Golpear con el martillo compactador a una velocidad y altura constante debido a que el ensayo Marshall es una práctica pulcra y cuidadosa un pequeño error puede hacer fallar los resultados.
- No sobrecalentar varias veces el cemento asfáltico debido a que pierde sus propiedades.
- Se debe tener en cuenta la temperatura de aplicación y la temperatura de compactado mediante un previo ensayo de viscosidad vs temperatura, para poder aplicar a las mezclas.
- Se recomienda que al trabajar con mezcla asfáltica a temperaturas altas se utilice el equipo necesario de seguridad para su manipuleo: guantes de cuero o lona, gafas de seguridad, ropa adecuada de preferencia un overol y mascarillas (tipo barbijo) para evitar la inhalación de gases u otras sustancias tóxicas.

- Se recomienda si se realizan estudios posteriores sobre el tema, construir un tramo de prueba que permita comprobar en obra el funcionamiento y la mejora en las propiedades de la mezcla obtenida en el laboratorio.
- Al resultar favorable el uso de ceniza de bagazo como filler en mezclas asfálticas, se recomienda realizar una propuesta en obra en vías para el uso del material en la región de Bermejo.
- La utilización de la ceniza de bagazo presenta una forma de ayuda al medio ambiente empleando un material que es desechado y que genera problemas de contaminación ambiental.