

CAPÍTULO I

“INTRODUCCIÓN AL TEMA.”

1.1.INTRODUCCIÓN

Se han venido implementando cada vez nuevas ideas que permitan el desarrollo del mejoramiento de los pavimentos, es por esto que surge el estudio de investigación sobre biomodificadores para asfaltos a partir de residuos agroindustriales, como una forma de mejorar las propiedades del ligante asfáltico y dar solución a ciertos inconvenientes que actualmente se presentan.

El aprovechamiento de los residuos agroindustriales, al ser transformados como Biomodificadores, tienden a mejorar su propiedad de resistencia a compresión bastante significativa en comparación con el cemento asfáltico sin adiciones. Estos residuos derivados de la industria azucarera, de aceites y cultivos de arroz son sometidos a temperaturas y velocidades de combustión específicas para obtener el Biomodificador, los cuales producen óxido de silicio que a su vez contiene material lignocelulósico, rico en azúcares y potencial energético.

La humanidad genera grandes volúmenes de residuos y crea uno de los mayores problemas del planeta. A partir de la década de los años 70 surgieron normativas basadas fundamentalmente en el reciclado y reutilización de los residuos agroindustriales. Las actividades agropecuarias y agroindustriales generan una variedad de esquilmos y subproductos que pueden emplearse (SAGARPA, 2009). En los últimos años el estudio de biomateriales se ha convertido en un tema recurrente de investigación en el área de ingeniería civil.¹

De esta manera la utilización de los residuos agroindustriales en los pavimentos

¹ OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)
pag.2
<http://karolbeth.net/atam/inicio/images/PDF/XXXVI/diversificacion/completos/4.pdf>

toma protagonismo en la sociedad, como una enorme necesidad para racionalizar los recursos, reducir el uso de energía y proteger el medio ambiente.

1.2.JUSTIFICACIÓN

El estudio de los residuos agroindustriales para ser aplicados como biomodificadores, es a partir de la existencia de una gran cantidad de residuos agroindustriales con gran potencial que existen en nuestra región, tal como en la fábrica de azúcar que existe en la ciudad de Bermejo se puede reutilizar el bagazo de la caña de azúcar para esta investigación.

La utilización de biomodificadores en nuestra región tiene como finalidad el reemplazo parcial del asfalto para su empleo en vías podría ser un uso efectivo de estos materiales, también se lo realizará con la finalidad de proyectar para el futuro, el uso de biomodificadores para la construcción del diseño de la mezcla asfáltica.

Como aporte académico de esta investigación es que se podrán implementar nuevas técnicas en la construcción de los pavimentos convencionales utilizando biomodificadores con lo cual se pretende con este trabajo, que los bioligantes pueda ser un complemento o un sustituto del cemento asfáltico que se obtienen de recursos naturales no renovables, tales como el petróleo. El presente trabajo describirá la generación y caracterización de biomodificadores para ligantes asfálticos que se emplean en la construcción del diseño de la mezcla asfáltica.

1.3.DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1 Situación problemática

Haciendo frente a la problemática observada en la actualidad de cuidar y preservar el medio ambiente, es necesario encontrar nuevas formas para la reutilización de los materiales que son producidos en las industrias agrícolas.

Ante esta problemática nacen investigaciones sobre la reutilización de los residuos agroindustriales (bagazo de la caña de azúcar) de una manera efectiva, muchas de éstas con aplicaciones civiles por ejemplo en el diseño de las mezclas asfálticas.

La incorporación de los biomodificadores a las mezclas asfálticas es una tendencia q se están dando en otros países del mundo presentando resultados satisfactorios; se utilizan biomodificadores que provienen de los residuos agroindustriales como el bagazo de la caña de azúcar, consiguiendo con esto un bioligante con el cual se pretende remplazar a los materiales no renovables utilizados en los pavimentos como el petróleo.

Por lo anterior, se ve la necesidad de analizar tecnologías de biomodificadores con materiales que surgen de los residuos agroindustriales, con el fin de analizar el comportamiento de sus propiedades físico-mecánicas, químicas, que se presentaran en los resultados del diseño de las mezclas asfálticas.

1.3.1.2 Problema.-

¿Cuál es el comportamiento de los biomodificadores en el diseño de mezclas asfálticas convencionales, para lograr que cumpla con la norma vigente para el diseño de pavimentos flexibles?

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar experimentalmente el comportamiento de los asfaltos modificados usando porcentajes de residuos agroindustriales (bagazo de caña de azúcar) aplicados como biomodificadores, para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas para la construcción de pavimentos flexibles.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Recopilación de la información teórica.
- Evaluar, las características físico-mecánicas en las mezclas asfálticas con asfaltos biomodificados; que son de materiales a partir de los residuos agroindustriales (bagazo de la caña de azúcar).
- Caracterización de los materiales granulares de aportación.
- Caracterización del cemento asfáltico (85/100) sin biomodificador.
- Caracterización del cemento asfáltico (85/100) con biomodificador.
- Elaborar briquetas, con diferentes porcentajes de residuo agroindustrial (bagazo de caña de azúcar) en el cemento asfáltico.
- Rotura de briquetas con el equipo Marshall.

- Comparar el desempeño de las mezclas asfálticas con biomodificador, contra las mezclas asfálticas convencionales.
- Dar o conocer el comportamiento y las ventajas de los asfaltos biomodificados con residuos de las agroindustrias que se generan en nuestro país.

1.5. Hipótesis.-

Si aplicamos porcentajes de residuos agroindustriales (bagazo de caña de azúcar) en el cemento asfáltico y lo empleamos en el diseño de mezcla asfáltica, entonces obtendremos diferentes propiedades de resistencias (Marshall) para la construcción de pavimentos flexibles.

1.6. Definición de variables Independientes y Dependientes.-

1.6.1. Variable independiente

- Porcentajes de residuos agroindustriales (bagazo de la caña de azúcar) en el cemento asfáltico.

1.6.2. Variable dependiente

- Resistencia (Marshall).

1.6.3. Conceptualización y Operacionalización de Variables

Tabla 1.1. Conceptualización y Operacionalización de Variables

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción
VARIABLE INDEPENDIENTE Porcentaje de residuos agroindustriales (bagazo de la caña de azúcar) en el cemento asfáltico.	Se refiere a los distintos porcentajes de residuo agroindustrial (bagazo de la caña de azúcar), que se adicionarán al cemento asfáltico convencional.	Contenido de humedad	0% de humedad	Control de la sequedad
		Estado del material	seco	Peso (gr)
VARIABLE DEPENDIENTE resistencia (Marshall)	Se refiere a los parámetros, que caracterizan a la resistencia de una mezcla asfáltica.	Agregados de aportación	Caracterización	Granulometría
				Peso Específico
				Desgaste de los Ángeles
				Equivalente de Arena
Mezcla asfáltica	Cemento asfáltico convencional	Ensayos Método Marshall		
	Cemento asfáltico con 5 (0.5, 1, 2, 3, 6) porcentajes de residuos agroindustriales (bagazo de la caña de azúcar)			

Fuentes: Elaboración Propia

1.7.DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1. COMPONENTES

1.7.1.1.Unidades de Estudio y Decisión Muestral

1.7.1.2.Unidad de Estudio

- Efectos de la Resistencia Marshall, por modificaciones en el cemento asfáltico con residuos agroindustriales.

1.7.1.3.Población

Figura 1.1 Población



1.7.1.4.Muestra

- Biomodificadores con residuos Agroindustriales bagazo de caña de azúcar

1.7.1.5.Muestreo

- Se realizará el muestreo del cemento asfáltico (85-100), tomando la muestra de los turriles que vienen de la fábrica del tipo Betunel.
- El biomodificador será una muestra del producto, producido por la licuefacción mediante una olla a presión a 120°C durante 120min mezclando etilenglicol, ácido sulfúrico con el residuo agro industrial (bagazo de caña de azúcar), el cual se caracteriza por tener un alto contenido lignocelulósico.

1.8.MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

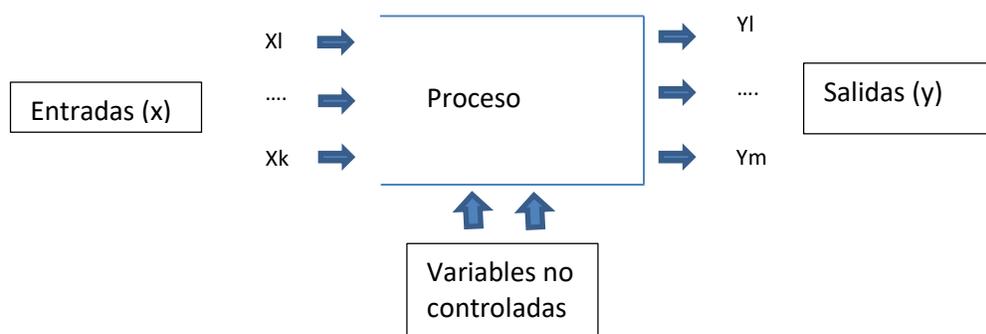
1.8.1. Selección de Método y Técnicas

1.8.1.1.Método

1.8.1.1.1. 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 1.2 Proceso 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).

1.8.1.2.Técnica

Con los agregados y el cemento asfáltico se utilizará la técnica experimental con ensayos de laboratorios que caracterizarán dichos materiales, se procede a diseñar

la mezcla asfáltica con el cemento asfáltico (85-100), con la granulometría de los agregados, y haciendo variar los porcentajes de residuo agro industrial, obteniendo así el cemento asfáltico biomodificado.

Para ello es necesario determinar la cantidad de ensayos que se deben realizar, como se propone en las siguientes Tabla.

Tabla 1.2 Cantidad de ensayos de caracterización

% de biomodificador	Penetración	Dúctilidad	Viscosidad	P.de ablandamiento	P.de inflamación	Peso específico
0.5	×	×	×	×	×	×
1	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×	×
6	×	×	×	×	×	×
8	×	×	×	×	×	×
10	×	×	×	×	×	×

Se realizaran un total de **42 ensayos de caracterización** del cemento asfáltico mezclado con porcentajes de Biomodificador, más los **6 ensayos de caracterización** del cemento asfáltico convencional serán un total de **48** ensayos.

Para la obtención del número de muestras de la mezcla asfáltica con el cemento asfáltico biomodificado, se estima una cantidad igual al número de briquetas que se necesitarán para realizar los ensayos de Resistencia de la estabilidad Marshall, como se muestra a continuación:

Tabla 1.3 Cantidad de ensayos de resistencia de la estabilidad Marshall

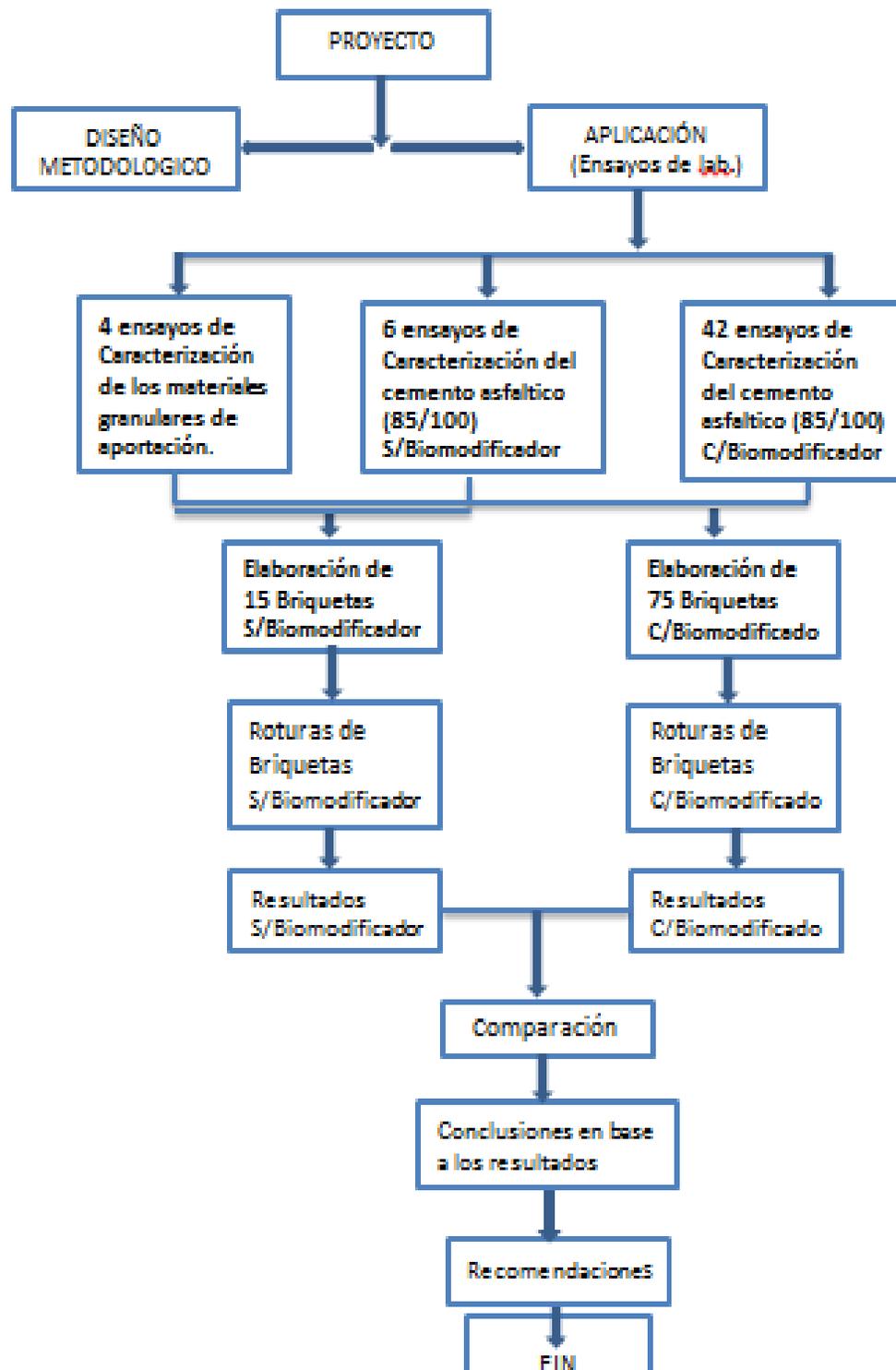
% de biomodificador en el cemento asfáltico	15 briquetas por cada porcentaje para la resistencia de la estabilidad Marshall
0.5	×

1	X
2	X
3	X
6	X

Para los ensayos de la resistencia de la estabilidad Marshall se realizarán un total de **75 briquetas** con porcentajes de Biomodificador, más 15 briquetas con cemento asfáltico convencional serán un total de 90 Briquetas.

1.8.1.3. Metodología

Figura 1.3 Esquema Metodológico



1.8.2. Técnicas de Muestreo

1.8.2.1. Técnicas de Muestreo No Probabilística

El muestreo es no probabilístico que aplicará para la obtención del cemento asfáltico y

de los materiales de aportación, ya que estos materiales son seleccionados intencionalmente.

Los agregados de aportación se obtendrán del acopio de la planta de asfaltos del SEDECA de la Ciudad de Tarija, ubicada en la comunidad de Charaja, que éste a su vez tiene como banco a la chancadora de Charaja.

El betún tiene procedencia del país de Brasil y será proporcionado por la Alcaldía Municipal de la Provincia Cercado del Departamento de Tarija.

1.8.3. Descripción de Equipos e Instrumentos

A. Para la caracterización de los agregados

Para los agregados de aportación:

- **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

Para el cemento asfáltico de aportación:

- **Penetrómetro de Asfalto.**- Que sirve para determinar la penetración del betún en estudio.

- **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.
- **Compactador para moldes Marshall.-** Este compactador sirve para compactar las briquetas según especificaciones técnicas.

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 realizarlos ensayos de estabilidad y fluencia para las briquetas en análisis.

1.8.4. Procedimiento de Aplicación

A. Caracterización de los agregados

Para caracterizar los agregados aporte, se deben someter al horno el secado y luego someterlo a la serie de tamices, con trillado constante en el RopTap por

unos quince minutos aproximadamente, luego de este tiempo proceder al pesaje del material que contiene cada tamiz.

Con estos valores obtener las curvas granulométricas tanto para los agregados a reciclar como para los agregados de aporte.

Analizar ambas curvas granulométricas y compensar los porcentajes, de tal manera que se obtenga una nueva curva granulométrica, optimizando el agregado de aportación. Esta nueva curva granulométrica debe cumplir con las normas que proporcionan rangos máximos y mínimos para cada tamiz.

B. Caracterización del cemento asfáltico

En este proyecto la caracterización del cemento asfáltico a modificar como del cemento asfáltico de aporte, se basa en la determinación de la Viscosidad, Penetración y Punto de Inflamación, ya que se considera que son los tres parámetros más importantes para el presente estudio. Estos parámetros deben cumplir con los rangos especificados por normas, caso contrario no sería viable para realizar mezclas asfálticas y se buscaría otra procedencia del betún.

C. Dosificación y diseño de briquetas

Para la dosificación de las briquetas, se debe considerar que la granulometría del agregado será constante, como se determinó anteriormente. A este agregado se le incluirá el ligante y el bioligante, que consiste de verter todo el cemento asfáltico de aporte y el biomodificado, siendo éste último variable en su porcentaje. De tal manera se obtendrán briquetas con cinco porcentajes de cemento asfáltico modificado con residuo agro industrial adicional, para luego someterlos a las pruebas de resistencia Marshall.

Es necesario resaltar que para el diseño de las briquetas se seguirá el Método Marshall.

D. Ensayos de resistencia técnica

Para los ensayos de resistencia técnica, se deben tener listas las briquetas, con su respectiva enumeración, para luego someterlas a las pruebas de Densidad, Estabilidad y Fluencia según el Método Marshall.

1.8.5. Preparación Previa

Dentro de la preparación previa a los ensayos, es necesario contar con tablas que permitan la tabulación de datos, donde especifique el lugar de obtención, el tipo de muestra, el ensayo a realizar, la numeración respectiva y los datos que se van a necesitar para cada tipo de ensayo.

Junto con lo anterior debe ir un cronograma de actividades para que permita el fácil desarrollo de las actividades o acciones a realizar.

1.9. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización y de las pruebas de resistencia técnica, se procede al tabulado y si es necesario corregir los resultados obtenidos de cada ensayo.

Con los ensayos de caracterización determinamos el cumplimiento de requisitos mínimos según normas, que deben tener tanto del bioligante que es el cemento asfáltico modificado y de los agregados.

Con los ensayos de pruebas de resistencia técnica determinamos las siguientes curvas:

- 1) % de cemento asfáltico modificado Adicional vs. Densidad
- 2) % de cemento asfáltico modificado Adicional vs. Estabilidad
- 3) % de cemento asfáltico modificado Adicional vs. Fluencia
- 4) % de cemento asfáltico modificado Adicional vs. % de Vacíos de la Mezcla

- 5) % de cemento asfáltico modificado Adicional vs. Relación Betún Vacíos
- 6) % de cemento asfáltico modificado Adicional vs. Vacíos de Agregado Mineral

De cada curva, se selecciona el valor del porcentaje de cemento asfáltico modificado más adecuado con previo análisis. El valor más aproximado del porcentaje óptimo de cemento asfáltico adicional para la mezcla, es el promedio de los valores seleccionados. Con este porcentaje promedio aproximado, finalmente se define el porcentaje óptimo de cemento asfáltico adicional, tomando en cuenta que a mayor resistencia mayor porcentaje de cemento asfáltico adicional, sin embargo como se trata de optimizar los recursos, se debe elegir un valor donde la resistencia sea tolerable, es decir, mayor a la resistencia mínima de una mezcla convencional.

1.10. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

En resumen el alcance que tendrá este trabajo es el Análisis Experimental de los Residuos Agroindustriales Aplicados como Biomodificadores para Asfaltos Convencionales.

En el primer capítulo, se describe de manera general de que trata la investigación para el contenido de residuo agro industrial que se aplicará en el cemento asfáltico como biomodificador donde se dará a conocer, la situación problemática, los objetivos, la justificación y la Hipótesis del presente proyecto.

El segundo capítulo, comprende la parte teórica, donde se detalla el estado de conocimiento, es decir, toda la información necesaria y relevante al proyecto, como es todo lo referente a las modificaciones y los agregados a utilizar, diseño de las mezclas asfálticas según el método Marshall, normas, etc.

El tercer capítulo, describe los medios y criterios para obtener los datos de caracterización de los materiales granulares de aportación, que luego son procesados y

analizados según normas.

También se aplica el diseño de briquetas con el método Marshall, en planta en caliente, con dos tipos de análisis, el primero con la mezcla asfáltica sin biomodificador y el segundo con una mezcla asfáltica con 5 diferentes porcentajes de biomodificador, para luego hacer un análisis final de datos, según curvas de correlación de la variable independiente porcentajes de residuos agro industriales (bagazo de caña de azúcar) en el cemento asfáltico, con la variable dependiente que es propiedades de resistencia Marshall. Para luego con estos resultados realizar una propuesta final del proyecto.

El cuarto capítulo, establece las conclusiones a partir de lo planteado en los objetivos, dándose a conocer los resultados finales de las comparaciones que se tendrá de las mezclas asfálticas con biomodificador y sin biomodificador del presente proyecto y las recomendaciones para la correcta aplicación y ejecución de este trabajo.

CAPITULO II CONCEPTUALIZACION DEL TEMA

2.1. 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.

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.

Tabla 2.1 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 como 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
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

2.2. DEFINICIÓN

El asfalto se define como una mezcla de hidrocarburos, derivado del petróleo naturalmente o por destilación.

2.3. PRODUCCIÓN DEL ASFALTO

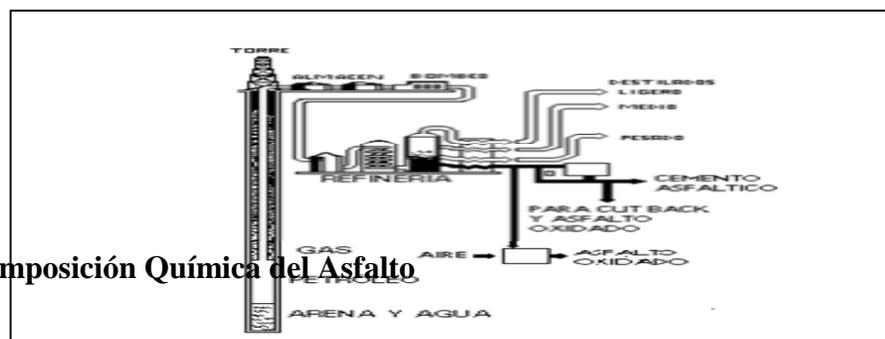
El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del crudo de petróleo. Es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de las Temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

- destilación por vacío
- extracción con solventes

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados mas pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), esta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. En las refinerías se deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos. Esto se logra la mayor parte de las veces, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos, para producir grados intermedios. Así un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso, pueden ser combinados para obtener un asfalto con viscosidad intermedia.

Figura 2.1. Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto.



2.4. Composición Química del Asfalto

Está constituido por tres grupos básicos: asfáltenos, resinas y aceites (aromáticos y saturados). Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las micelas, en las cuales el núcleo o agregado es el asfalten.

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 2.1 Composición química del asfalto.

Elemento	Concentración
Carbono	82- 88%
Hidrogeno	8- 11%
Azufre	0- 6%
Oxigeno	0-1.5%
Nitrógeno	0- 1%

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

2.5. Propiedades físicas del asfalto de pavimento

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

- **Durabilidad:** es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.
- **Adhesión y cohesión:** la adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión por otro lado, es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

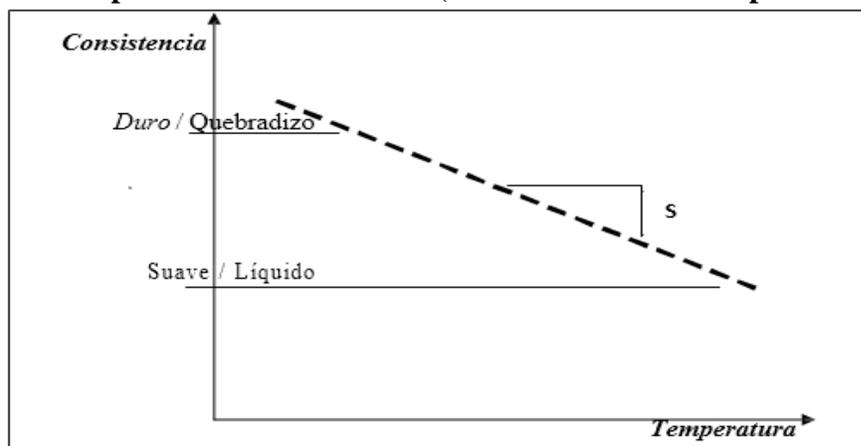
- **Susceptibilidad a la temperatura:** el asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia.

Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación.

Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

Figura 2.2 Comportamiento del asfalto (Consistencia vs. Temperatura)



Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute.

La gráfica muestra como el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se le conoce como susceptibilidad térmica y es la pendiente de la recta (S).

- **Endurecimiento y envejecimiento:** los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas

temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas, mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa. No todos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene en el pavimento terminado, una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas del agregado.

2.6. ASFALTO MODIFICADO. –

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se les añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura.

Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

2.6.1. PRINCIPALES MODIFICADORES UTILIZADOS EN EL ASFALTO.

Desde hace bastante tiempo se emplea caucho como modificador, ya sea natural o sintético, con tasas no superior al 5 %. Actualmente existen los polímeros sintéticos de formulación especial que resultan muy competitivos. Asfaltos modificados con estos polímeros han sido ensayados en pavimentos de varios países. Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

- **POLÍMERO TIPO I:** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastómeros radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno – Butadieno - Estireno (SBS) o Estireno - Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.
- **POLÍMERO TIPO II:** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastómeros lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.
- **POLÍMERO TIPO III:** Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la

susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etileno – Vinil - Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

La obtención de una buena mezcla de asfalto y polímero, dependerá de que el polímero adicionado tenga una estructura química que le permita una buena dispersión en el asfalto, de modo de lograr una estructura de malla, la cual a su vez dependerá del grado de productos aromáticos que contenga el asfalto.

El grado de modificación en la elasticidad dependerá del tipo de polímero empleado y su concentración.

Los nuevos procesos en los cuales el polímero se asocia con el asfalto a través de una reacción química, incrementan notablemente las propiedades reológicas del asfalto.

2.6.2. ¿POR QUÉ SE MODIFICAN LOS ASFALTOS?

Está plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tráfico sobre los criterios de diseño vehicular y el exceso de carga, así como el incremento en la presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas, hacen que utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras actualmente no satisfagan sus expectativas tal como cumplir un determinado periodo de servicio, es decir, menor resistencia al envejecimiento, la poca durabilidad de un camino reflejándose en deformaciones y figuraciones dentro de una carpeta asfáltica, sin embargo estos problemas son

causados además por la selección de materiales en los diseños, mal proceso de construcción, mantenimiento y por la baja calidad del ligante y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Por ejemplo con asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta. Además con asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de formaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Una solución evidente fue mejorar las características de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos; ello dio origen a nuevos asfaltos que fueron denominados “Asfaltos Modificados”.

2.6.3. MODIFICACIÓN DEL ASFALTO.

La modificación del asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías carreteras. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes, de las mezclas que componen las capas o superficie de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

2.6.4. ESTRUCTURA DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS.

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una

formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad – temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

2.7. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES. -

En la década de los años 70, una parte importante de los biotecnólogos de todo el mundo enfocaron sus investigaciones hacia la utilización y aprovechamiento de los residuos agroindustriales para la producción de compuestos útiles como insumos de otros procesos industriales; los primeros años la prioridad se enfocó a la generación de productos con valor agregado, años más tarde se sumó la prioridad de utilizar los residuos para reducir el impacto ambiental que ocasiona su disposición, y a partir del presente siglo la prioridad está enfocada a la producción de bioenergéticos y a la elaboración de nuevas formulaciones de alimentos para animales.

Entre los diferentes enfoques que existen para definir a la “agroindustria”. Se dice que es una “actividad que integra la producción primaria agrícola, pecuaria o forestal, el proceso de beneficio o transformación, así como la comercialización del producto, sin

dejar de lado los aspectos de administración, mercadotecnia y financiamiento”. Dicho en otros términos, es una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas semi-elaboradas destinadas al mercado. También se dice que constituye una parte del sector industrial que se dedica a producir y/o transformar, almacenar y comercializar productos provenientes del campo. Entre los productos que se industrializan están: frutas, verduras, raíces, semillas, hojas, tubérculos y vainas; algunos se comercializan en fresco y otros son transformados en néctares, jugos, mermeladas, ensaladas, harinas, aceites, vinos, concentrados en polvo y conservas, por mencionar algunos. La tendencia mundial es el notable crecimiento en la generación de residuos, derivado del incremento en la generación de productos comercializables.

A partir del marco de referencia anterior, se puede entonces decir que los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social.

2.7.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RESIDUOS CON FINES DE APROVECHAMIENTO

Al paso de los años, se han definido criterios de selección de los residuos para ser aprovechados con fines biotecnológicos, algunos de ellos son:

- Que el principal componente del residuo pueda ser utilizado como sustrato para la producción fermentativa de insumos de procesos industriales, o bien, que el material pueda ser sometido a extracciones para recuperar alguno de sus componentes que tenga un mercado demandante.
- Que el residuo esté disponible localmente y en las cantidades necesarias para asegurar la fabricación de un producto de interés.

- Que no tenga otras aplicaciones o usos que compitan con el proceso que se pretende promover.
 - Que no requiera pre tratamiento, y en caso de requerirlo, que éste sea sencillo y económico.
 - Que la disponibilidad del residuo permita planificar el proceso para el cual se va a utilizar.
 - Que sea estable, es decir, que no se descomponga fácilmente bajo las condiciones ambientales del sitio donde se genera.
-
- Con el marco de referencia anterior, se resumen ejemplos de los diferentes usos que se le han dado a diversos tipos de residuos agroindustriales, con base en la siguiente clasificación:
 - Como sustrato para la producción fermentativa de metabolitos de interés.
 - Como sustrato para la generación de bioenergéticos.
 - Como mejoradores o acondicionadores de suelo obtenidos mediante composteo.
 - Como suplemento alimenticio para animales.

Por otro lado, cuando los residuos no son reutilizados y se abandonan en el lugar donde se generaron, se convierten en contaminantes de suelos y aguas subterráneas. Este tema se aborda después de revisar los diferentes usos de los residuos.

2.8. EL BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR

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.

Tiende a ser muy voluminoso y sus partículas no tienen un tamaño uniforme, todo eso depende del tipo de caña molida y la eficacia de la molienda.

En la actualidad existen especificaciones sobre la extracción del bagazo y hacerlo fuera de estas puede traer consecuencias como:

- a) Disminución de la eficiencia de desmedulado y aumento de pérdida
- b) Dificultades para el mezclado y bombeo del bagazo en soluciones acuosas
- c) En la producción de papel puede haber dificultades en la impregnación del bagazo con productos químicos

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%.

2.8.1. PROPIEDADES DEL BAGAZO

2.8.1.1. 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 2.3 muestra las densidades de un bulto de bagazo en las condiciones más frecuentes en la industria de los derivados.

Tabla 2.3 Comparación entre las densidades de un bulto de bagazo en diferentes condiciones.

Humedad (%)	Compactación (m)	Densidad en bulto (kg/m ³)
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.

2.8.1.2. Características morfológicas

Las fibras suelen ser muy rígidas y las que provienen de especímenes maderables, en ocasiones, tienen una longitud menor a la usual, esto representa una limitante en algunas producciones, como la de papeles de alta resistencia.

Las propiedades biométricas de las fibras de distintos tipos de bagazo se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Propiedades biométricas de distintos tipos de bagazo.

Variedad de caña	Longitud promedio (mm)	Diámetro promedio (mm)	Ancho de pared	Relación de delgadez	Índice de flexibilidad
J-60-5	1.3	23	9.9	49.1	0.56
B-4362	1.26	22	11.2	57.2	0.49
328560	-	-	-	-	-
Hawaii	0.81	18	-	-	-
443098	-	-	-	45	-

Hawaïi	1.97	19	-	56.3	-
--------	------	----	---	------	---

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

En la tabla 2.5 se hace una comparación entre el bagazo de caña y otro tipo de fibras naturales.

Tabla 2.5. Comparación de las propiedades de distintos tipos de fibras naturales.

Tipo de fibra	Longitud promedio (mm)	Diámetro promedio (mm)	Diámetro lumen (m)	Largo de pared (m)	Relación de delgadez	Índice de flexibilidad
Bagazo	1.5	20	12.0	4.0	75	0.60
Haya (Fagus silvatica)	1.5	14	7.4	3.3	107	0.2
Pino	2	28	21.0	3.0	100	0.75
Eucalipto	1.0	13	9.8	1.6	77	0.75

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

2.8.1.3. CONTENIDO DE FIBRAS Y MEDULA

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 y una tercera que aglutina finos, tierra y solubles.

Tabla 2.6 Componentes de la fibra.

Componente	%
Fibras largas de la corteza	50
Parénquima	30
Haces fibrovasculares	15
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. Estos porcentajes se han visto afectados, por la mecanización y por el uso de variedades de fibra relativamente más blandos con bajo contenido de fibra y alto

porcentaje de sacarosa. Esto se expresa en la tabla 2.7

Tabla 2.7 Componentes de la fibra en estado seco.

Fracción	Rango (%)
Fibra	55.0 – 60.6
Medula	30.0 – 35.0
Finos, tierras y solubles	10.0 – 15.0

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

2.8.1.4 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. Esto se muestra en las tablas 2.8 y 2.9.

Tabla 2.8 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

Tabla 2.9 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	-	-	-
Azucares	-	-	-	-
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
Sflice	-	2	0.46	2.42

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

2.8.1.5. Desmedulado del bagazo

El desmedulado es el proceso de enriquecimiento de la fibra extrayendo una corriente rica en médula. Las diversas variantes del desmedulado de acuerdo con el contenido de humedad del material pueden clasificarse de la siguiente forma:

- a) Seco: Se realiza entre 20 y 40 % de humedad, empleando cernidores, zarandas y molinos de martillos.
- b) Húmedo: en éste la separación de la medula se efectúa a la humedad de 48 a 50%, a la salida del tándem azucarero.
- c) En suspensión o mojado: se realiza con el bagazo a una consistencia de 2 a 3% con una combinación de hidropulpeadores y conductores de drenaje.

2.8.1.6. Almacenamiento del bagazo

Solamente durante la época de zafra, que por lo general dura entre 4 y 5 meses, es cuando el bagazo se puede producir; por tal motivo las industrias que lo utilizan como materia prima se ven en la necesidad de almacenarlo en grandes cantidades para garantizar su producción todo el año. Los métodos de almacenamiento se clasifican en: compactos y a granel.

Hace algunos años, el almacenamiento de manera compacta era el único sistema utilizado en las fábricas de papel, tableros, furfural y otros.

2.8.1.7. Tipos de almacenamiento

En pacas húmedas

Este método consiste en empacar el bagazo húmedo, antes o después del

desmedulado parcial. Estas pacas son almacenadas en forma piramidal con ayuda de grúas y dispositivos que permiten manipularlas.

El lugar donde se almacenen debe contar con canales de ventilación que permitan la circulación del aire para la disipación del calor y los gases formados por a fermentación

En pacas presecadas

En este sistema el presecado sirve para evitar que el proceso de fermentación y pudrición del bagazo haga que se pierda materia prima. Al no existir problemas fermentativos en el bagazo presecado, es posible reducir pacas de hasta cuatro veces el tamaño convencional empleado en el sistema húmedo. Con esto, se reducen los costos de manipulación y se logran mayores capacidades en la estiba.

En briquetas

En la industria, la utilización de briquetas de bagazo no se acostumbra tanto debido al alto costo y a los altos consumos energéticos de las maquinas. Esta forma de almacenamiento se puede ver como una forma de utilizar el bagazo como combustible.

Las briquetas poseen una alta densidad sólo comparable con la de las maderas duras. Sus longitudes van desde 130 a 150 mm.

A granel

Aquí el bagazo se almacena en patios destinados para este fin, se forman pilas que pueden contener hasta 25 000 toneladas con una altura de 20 a 25 metros.

Casi en todos los sistemas de almacenamiento a granes se utiliza algún agente liquido en la pila, éste es usado en la formación de las pilas al mezclarse con el bagazo y servir como vía de transporte; en otros casos, se agrega en forma de riego antes o después de formada la pila.

2.8.1.8. El bagazo como materia prima

Se ha encontrado que el bagazo gracias a sus características es una materia prima superior a otras. Tiene la ventaja sobre otros residuos agrícolas debido a que su recolección, transporte, molido y lavado, se cargan directamente a la producción de azúcar y, cuando se entrega el bagazo a la planta de elaboración, este requiere poco tratamiento preliminar.

En la utilización industrial de bagazo se deben tomar en cuenta los siguientes cuatro principios fundamentales.

1. Arreglar la adquisición del material sobre bases económicas firmes. Esto incluye la recolección, empaque, transporte, almacenamiento y preservación y relaciones contractuales firmes con los proveedores.
2. Estudiar completamente las propiedades del material, para establecer si se puede usar de manera industrial con ventajas sobre otras materias primas, y con esto establecer su empleo basado en las posibilidades superiores.
3. Al utilizar el bagazo se deben eliminar los subproductos hasta donde sea posible. Se debe intentar obtener el mayor beneficio posible de la materia prima, obteniendo la mayor cantidad de coproductos en lugar de subproductos de desecho.
4. Tener presente la necesidad de explotar los mercados, perfeccionar planes comerciales adecuados y hacer los debidos arreglos financieros antes de hacer gastos en instalaciones industriales.

2.8.1.9. Derivados del bagazo

Pulpa quimicamecanica 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 2.10.

Tabla 2.10 Componentes y propiedades de la pulpa para disolver.

Propiedades de la pulpa para disolver	
Celulosa (%)	90 – 91
Pentosanos (%)	3.5
Cenizas (%)	0.08
Silicio (%)	0.0075
Hierro (%)	0.0010
Viscosidad (cp)	12
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.

Pulpa absorbente

Esta pulpa es diseñada para la rápida y abundante absorción de líquido fisiológico, después de ser sometida a un proceso de desintegración en seco. Estas pulpas son químicamente semejantes a las pulpas convencionales producidas para la fabricación de papel, pero diferentes de éstas en las propiedades físicas.

La pulpa absorbente se usa en la producción de pañales desechables los cuales consumen el 80% de la pulpa producida; artículos de uso femenino, como toallas sanitarias y tampones.

2.8.1.10. Uso del bagazo en la producción de biomasa

Antes que nada, se debe dar a conocer la definición de biomasa. La biomasa es toda aquella materia orgánica que se produce de manera natural y es de origen animal o vegetal

Hay tres clasificaciones para la biomasa:

La biomasa natural.- es aquella que se produce sin la intervención del hombre

La biomasa residual.- que es el residuo de alguna actividad humana

La biomasa producida.- es aquella que es cultivada con el fin de obtener biomasa transformable en combustible y no en alimentos, tal es el caso de la caña de azúcar en Brasil, que se utiliza para extraer etanol.

Su naturaleza es variada, puede ser de origen animal o vegetal, y su uso como energético también varía, ya sea como combustible para producir calor o como materia prima para convertirla en energético o combustible.

La biomasa que sirve para generar combustibles es una opción sustentable ya que los energéticos de origen fósil actualmente producen demasiada contaminación.

En México y, particularmente, en el estado de Veracruz, el bagazo de caña es utilizado como combustible en muchos lugares, tal es el caso de los ingenios azucareros, que lo utilizan para calentar las calderas y así ahorran en combustibles fósiles, ya que la biomasa del bagazo ahí mismo se obtiene.

2.8.1.11. El bagazo como combustible

Como ya se mencionó, en los ingenios azucareros se puede obtener una gran cantidad de biomasa.

Desde siglos pasados cuando ya existían problemas con respecto a los bosques, el bagazo se convirtió en el principal combustible para los ingenios azucareros, esto aunado a que en aquellos tiempos no se contaba con la tecnología para utilizar el bagazo en la elaboración de otros productos como los ya mencionados.

Además era tan abundante que tenía que ser quemado para que no hubiera tanto sobrante y se tuvieran problemas por su acumulación por lo cual el método más rápido para deshacerse de él era quemándolo en las calderas.

Una de las ventajas del uso del bagazo como combustible es que su combustión no aumenta la cantidad de gases como el bióxido de carbono, ya que solo se genera el carbono que la planta obtuvo durante su crecimiento.

Con esto se reafirma que además de no renunciar al desarrollo de nuevas formas de energía, usar la biomasa como combustible protege al medio ambiente.

En la tabla 2.11 se compara el valor del bagazo con el de otros combustibles, considerando su valor como tal.

Tabla 2.11 Comparación entre el bagazo y otros combustibles en cuanto a contenido energético.

Combustible	Contenido energético
Bagazo	3 024 000 calorías por tonelada
Petróleo	1 512 000 calorías por barril
Gas natural	252 000 calorías por 1000 ft ³

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

2.8.1.12. Producción de electricidad a partir del bagazo de caña

Este proyecto no es realizado en nuestro país, pero se consideró hacer mención debido a que es un proyecto que tiene muchos beneficios ambientales.

Este tipo de energía no produce contaminantes y ayuda a reducir los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

El proceso consiste en utilizar el bagazo que es desechado en la producción de azúcar para generar vapor, este vapor después de un largo proceso es convertido en energía limpia.

Una parte de esa energía es utilizada para hacer funcionar la empresa azucarera y la restante la venden a una distribuidora eléctrica.

Se han establecido unas variantes para que se aproveche de la mejor manera la biomasa de los ingenios en la producción de energía.

1. *Aprovechamiento óptimo de la capacidad instalada:* esto puede entenderse tomando en cuenta que mientras más continuamente la maquinaria esté trabajando, más será la energía que se produzca, esto

depende de la cantidad de toneladas de caña que lleguen al ingenio y de las veces que la maquinaria permanezca parada.

2. *Aumento de la eficiencia de la generación de electricidad utilizando calderas de baja presión:* La eficiencia del ciclo térmico de la generación de electricidad está determinado por las características del generador y de la turbina de vapor. En este caso, el mantenimiento o la sustitución de los generadores de vapor y el remplazo de las turbinas de contra- presión por turbinas de extracción condensación pueden ser una solución eficiente.
3. *Centrales termoeléctricas en las industrias azucareras:* Un aumento significativo de la generación de electricidad en la industria azucarera se puede lograr mediante la introducción de generadores de vapor a alta presión (80 kg/cm²), lo cual requiere sistemas de generación muy similares a los utilizados en las centrales termoeléctricas.
4. *Utilización de ciclos con turbinas de gas:* estos ciclos alcanzan un alto nivel comercial cuando se utilizan gases naturales o combustibles líquidos. El uso de la biomasa cañera como combustible en estos ciclos está frenada por estar aún en etapa de investigación y desarrollo los gasificadores de biomasa requeridos para estas aplicaciones y se trabaja en el perfeccionamiento de los sistemas de limpieza de los gases, además las turbinas aeroderivadoras no han sido evaluadas en las condiciones de trabajo de estos ciclos termodinámicos.

2.9. DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por

una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004).

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

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.

2.9.1. Clasificación de las Mezclas Asfálticas por la Temperatura de puesta en obra

- 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.
- 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.

2.9.1.1. Mezcla Asfáltica en Caliente

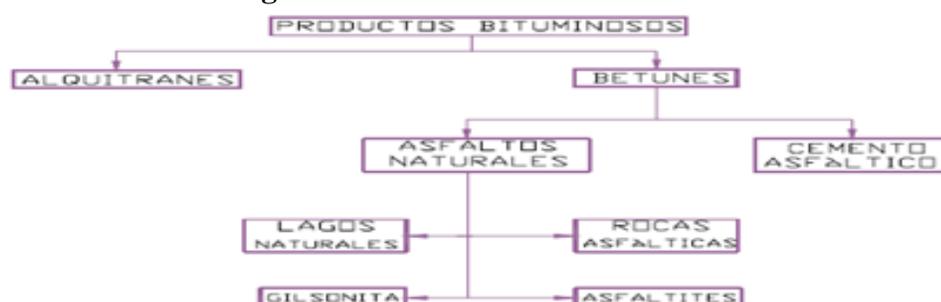
Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados, y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de betún asfáltico en volumen de agregados pétreos.

2.9.2. BETUNES ASFÁLTICOS

Los betunes asfálticos se definen como productos derivados del petróleo de aspecto oscuro y viscoso, con características aglomerantes y propiedades termoplásticas que hacen apropiado su empleo de firmes. También reciben el nombre de betunes de penetración, ya que es el ensayo de penetración quien los caracteriza y clasifica.

Figura 2.3: Productos Bituminosos



Fuente: The Asphalt Institute "Asphalt Cold – mix Recycling".

Existen dos formas conocidas de procedencia de los betunes aptos para su empleo en carreteras:

- a) **Betunes Naturales.**- Proceden de la descomposición de organismos marinos, aflorando a la superficie en lagos de asfalto o impregnados en las rocas.
- b) **Betunes Artificiales.**- Se obtienen como subproductos del petróleo, una mezcla de hidrocarburos con impurezas.

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

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

- 1) **Adhesividad.**- Facilidad que presenta el betún para adherirse a la superficie de una partícula mineral.
- 2) **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 susceptibilidad térmica.
- 3) **Susceptibilidad Térmica.**- Indica la propensión que presenta el betún a variar ciertas propiedades reológicas con la temperatura. Gracias a esta propiedad

pueden manejarse con facilidad a altas temperaturas, presentando una mayor estabilidad a temperatura ambiente.

- 4) **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.
- 5) **Envejecimiento.-** Fenómeno de degradación y transformación química de los componentes del betún debido a la acción oxidante del aire y la presencia de humedad y radiaciones solares, haciendo que el betún pierda sus propiedades reológicas y adhesivas.

2.9.3. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El diseño de mezclas asfálticas, 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 objetivo general para el diseño de mezclas asfálticas, es el determinar cada componente de la mezcla asfáltica, y el asfalto que resulte en una mezcla económica que tenga:

- Suficiente asfalto para asegurar durabilidad.
- Suficiente estabilidad para satisfacer las demandas de tráfico sin distorsión o desplazamientos.
- Suficiente manejabilidad para permitir la colocación de la mezcla sin segregación.
- Los materiales propuestos a usarse satisfagan los requisitos de las especificaciones del proyecto.
- Las combinaciones de agregados satisfagan la granulometría requerida en las especificaciones.

- Las gravedades específicas de masa de todos los agregados usados y la gravedad específica del asfalto sean determinados para poderse usar en los análisis de densidad y vacíos.

Estos requerimientos son materia de pruebas de rutina, especificaciones y técnicas de laboratorio que deben ser considerados, pero que no son técnicas para cualquier método de diseño en particular. Por lo que existen varios Métodos de Diseño de Mezclas, en nuestro caso solo hablaremos del método MARSHALL que por su accesibilidad a los equipos y por ser el más usado en el país.

2.9.3.1. Demanda de asfalto para la combinación de agregados

Puede determinarse por el ensayo CKE (equivalente centrífugo de kerosene) o estimarse con la fórmula empírica:

$$Pc = 0.035 a + 0.045 b + K c + F$$

Donde:

Pc = Porcentaje de asfalto por peso de la mezcla total.

a = Porcentaje de agregado, mayor a 2.36 mm(Nº8).

b = Porcentaje de material entre 2.36 mm y 75µm (Nº8 y Nº 200).

c = Porcentaje de partículas menores a 75µm (Nº 200).

K = 0.15 si el porcentaje inferior a 75 µm está entre 11 y 15; 0.18 su porcentaje está entre 6 y 10; 0.20 si es menor o igual a 5.

F = Varía entre 0 y 2 % de acuerdo a la absorción del agregado. La fórmula se basa en un peso específico promedio de 2.60 a 2.70. Si no se dispone información, se puede tomar un valor de 0.7 a 1.0, rango dentro del cual se encuentran la mayoría de los casos.

2.9.3.2. Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla

La cantidad de asfalto nuevo por adicionar en las mezclas recicladas es igual a la demanda total, menos el porcentaje de asfalto del pavimento asfáltico recuperado.

$$Pr = Pc - Pa * \frac{Pp}{100}$$

Donde:

Pr = Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla reciclada.

Pc = Porcentaje de asfalto por peso de la mezcla.

Pa = Porcentaje de asfalto en la mezcla recuperada del pavimento.

Pp = Porcentaje en que interviene el pavimento asfáltico recuperado dentro de la mezcla reciclada.

Si se requiere expresar el porcentaje de asfalto como porcentaje con respecto al peso de los agregados:

$$Pa = \frac{100 * Pr}{100 - Pr}$$

2.9.3.3. Tanteos de diseño de la mezcla y selección de la fórmula de trabajo

Se hacen tanteos utilizando el método Marshall. El contenido de asfalto se puede ajustar cambiando la cantidad de asfalto nuevo, hasta llegar a una mezcla que cumpla con el criterio del procedimiento de diseño utilizado.

2.10. MÉTODO MARSHALL

Los conceptos originales para el Diseño Marshall fueron desarrollados por Bruce Marshall del Departamento de Caminos del Estado de Mississippi, y rediseñado por El Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estado Unidos en los años 40. Después se hicieron avances y el desarrollo de especificaciones de materiales por organizaciones como el Cuerpo de Ingenieros y el Instituto del Asfalto.

Como cualquier otro método de diseño de pavimentos, el punto de partida es obtener muestras de materiales representativos de aquellos que serán usados para el proyecto. Este método usa unas muestras estándar de 2 ½ pulgadas de alto y 4 pulgadas de diámetro. Estos se preparan usando un procedimiento específico para calentamiento,

mezclado y compactado de las mezclas de agregado y asfalto. Las dos características principales del método de Marshall, son las de análisis de densidad y vacíos en la mezcla y los resultados de estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

2.10.1. Preparación de las Muestras de Ensayo

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final.

La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

1. El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
2. Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
3. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada biqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes; una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos y una probeta de 75 golpes recibe 150 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

2.10.2. 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.

2.10.3. 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.

2.11. CRITERIOS DE DISEÑO NORMALIZADO

Para el diseño de mezclas asfálticas, deben cumplir con la caracterización mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO y ASTM, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 2.12 Ensayos de laboratorio Normalizados para Agregados

Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano qué clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	EL objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%.
Equivalente de Arena	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de Partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
Gravedad específica y absorción del agregados gruesos y finos	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C – 127 ASTM C – 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un período largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Próctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

Fuente: *The Asphalt Institute.*

Tabla 2.13 Ensayos de laboratorio Normalizados para Asfaltos

Ensayo de laboratorio para ASFALTOS	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO 201. ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los Cementos Asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los Cementos Asfálticos
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en décimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicarán consistencias suaves.

Fuente: The Asphalt Institute.

Fuente: The Asphalt Institute.

Requisitos del agregado pétreo

Tabla 2.14 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste de los ángeles, %	35
Partículas alargadas y lajeadas, % máximo	40
Equivalente de arena, % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, % máximo	25

Fuente: SCT, 2003.

Tabla 2.15 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.

Malla		Tamaño				
Abertura mm	Designación	12.5 mm (1/2 ")	19 mm (3/4 ")	25 mm (1 ")	37,5 mm (1 1/2 ")	50 mm (2 ")
50	2"	---	---	---	---	---
37,5	1 1/2"	---	----	---	100	90-100
25	1"	---	----	100	90-100	76-90
19	3/4"	---	100	90-100	79-92	66-83
12,5	1/2"	100	90-100	76-89	64-81	53-74
9,5	3/8"	90-100	79-92	67-82	56-75	47-68
6,3	1/4"	76-89	66-81	56-71	47-65	39-59
4,75	No.4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	No.10	48-64	41-55	36-64	30-42	26-38
0,85	No.20	33-49	28-42	25-35	21-31	19-28
0,425	No.40	23-37	20-32	18-27	15-24	13-21
0,25	No.60	17-29	15-25	13-21	11-29	9-16
0,15	No.100	12-21	11-18	9-16	8-14	6-12
0,075	No.200	7-10	6-9	5-8	4-7	3-6

Fuente: SCT, 2003.

Requisitos del ligante asfáltico

Tabla 2.16 Requisitos de calidad para cemento asfáltico, clasificado por viscosidad dinámica a 60°C.

Características	Clasificación			
Del cemento original	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa.s(P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	175	250	300	350

Fuente: SCT, 2005.

Fuente: SCT, 2005.

CAPÍTULO III

PREPARACION DE MATERIALES

3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Los materiales que se utilizarán para el presente proyecto son los siguientes:

3.1.1. Material Agroindustrial

El material agroindustrial que se utilizara para la investigación será el bagazo de caña de azúcar proveniente de la fábrica del ingenio azucarero ubicada en Bermejo

Imagen 3.1 Mapa político de Tarija



Fuente.- Mapas Políticos

3.1.2. Materiales de Aporte

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de

Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes; Además de tener una disponibilidad.

El material pétreo, está situado en la comunidad de San José de Charaja, donde se encuentra ubicada una chancadora para la provisión de material para la Institución de SEDECA de Tarija de la Provincia Cercado.

Imagen 3.2: *ubicación de la planta de SEDECA*



Fuente: Elaboración Propia

El Betún como ligante asfáltico C.A. 85-100 con nombre Betunel de procedencia Brasileira, fue proporcionado por la Alcaldía Municipal de Tarija; siendo los mismos

analizados en laboratorio de Suelos, Hormigones y Asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Imagen 3.3: Especificaciones del Betún Nuevo de Aporte

BETUNEL INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA		CERTIFICADO DE QUALIDADE DE PRODUTO ACABADO (CÓPIA) Nº 663/2014		
PRODUTO: CAP 85/100 (Exportação)		QUANTIDADE: 27900 Kg		
DATA DO CARREGAMENTO: 24/10/14		C. PROVA FAB/CL: 103790 /		
CLIENTE: MERCANTIL LEON SRL		N. FISCAL Nº: 6356		
DESTINO: SANTA CRUZ LA SIERRA - BOLIVIA		ESTADO: MS		
VEÍCULO PLACA: HRG-3197/HTE-9641 MUNICÍPIO: CORUMBÁ		TQ.: 4		
HORA:		TEMPERATURA: 25°C		
OBS: MOT. HELIO NEY SOARES COSTA				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Formulario C-1 (Llenado por la Entidad) - ENSAYOS DE VERIFICACION DE CALIDAD DEL MATERIAL SOLICITADON (ENSAYOS AASHTO)	LIMITES	MÉTODO	REPRODU- TIBILID.(*)	ENCONTRADAS
Penetración a 25 °C, 100 gr, 0,1 mm (T - 201)	85 a 100	NBR-6576 / ASTM D5 / AASHTO T201	± 4 dmm	91
Viscosidad Saybolt Furol a 135 °C seg. (T - 72)	85 mín.	NBR-14950 / ASTM D98 / AASHTO T72	± 2%	120
Ensayo de la Mancha @20% Xilol (T -102)	Negativo	- / ASTM D2170 / AASHTO T102	ND	negativo
Punto de Ablandamiento °C (T - 53)	43 a 46	NBR-6560 / ASTM D36 / AASHTO T53	± 3°C	45
Ductilidad a 25 °C 5 cm/mín, cm (T - 51)	100 mín.	NBR-6293 / ASTM D113 / AASHTO T51	consultar NBR	> 100
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 135°C, cP	214 mín.	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	290
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 150°C, cP	97 mín.	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	152
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 177°C, cP	28 a 114	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	58
TEMPERATURA DE MISTURA, °C (**)	INDICATIVO	CÁLCULO	ND	141 a 147
TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO, °C (**)	INDICATIVO	CÁLCULO	ND	130 a 136
Índice de Penetración de Pfeiffer	-1,5 a 0,5	CÁLCULO / CÁLCULO	ND	-1,1
Punto de Inflamación C.O.C. °C (T - 48)	230 mín.	NBR-11341 / ASTM D92 / AASHTO T46	± 18°C	> 235
Solubilidad en Tricloroetileno (T-44)	99 mín.	NBR-14855 / ASTM D2042 / AASHTO T44	± 0,26%	99,9
Densidad a 25 °C c/25 °C (T - 228)	0,99 mín.	NBR-6296 / AASHTO T228	± 0,005	1,012
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO PELICULA DELGADA (TFOT), 32 mm, 163°C (AASHTO T240)				
(R)TFOT - Pérdida de Masa (T - 240)	1 máx.	NBR-15235 / ASTM D2672 / AASHTO T240	consultar NBR	0,41
(R)TFOT - Penetración del Residuo, % de la penetración origi	50 mín.	CÁLCULO	ND	55
(R)TFOT - Pérdida por Calentamiento (T-179), %	1 máx.	CÁLCULO / AASHTO T-179	± 4 dmm	0,42
Densidad a 25 °C c/25 °C (T - 228)	1 a 1,05	NBR-6296 / AASHTO T228	± 0,005	1
Observações:				
ND - Não Determinado; NA - Não Aplicável				

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Obtención del Biomodificador, Caracterización de los Materiales

3.2.1. Material Agroindustrial (bagazo de caña de azúcar)

3.2.1.1. Granulometría del Bagazo de Caña de Azúcar

Para la realización del Biomodificador con Bagazo de Caña de azúcar se procede en un principio a preparar la muestra, para realizar el ensayo de granulometría donde se obtendrá un porcentaje de material que pasa por cada tamiz, con el cual se encontrara un tamaño máximo nominal de la partícula, con el que será utilizado para hacer la práctica de la biomodificación de la materia prima

Esquema 3.1: realización de la Practica



Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO1

3.2.1.2. Contenido de Humedad del Bagazo de Caña de Azúcar

El contenido de humedad o más comúnmente la humedad de la muestra, es la relación entre el peso del agua contenido en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada en el horno. Este método es el más eficaz, su demora es de aproximadamente de 24 horas y, la muestra a secar en horno, se realiza a una temperatura de 105 °C y 110 °C.

3.2.1.3. Obtención del Biomodificador a partir del Bagazo de Caña de Azúcar

Después de realizar la granulometría obteniendo el tamaño de partícula que será el retenido en el tamiz N°200 y su contenido de humedad se procederá a obtener el Biomodificador de Bagazo de Caña de Azúcar el cual será utilizado para la investigación del proyecto que servirá para mezclar con el Cemento Asfáltico 85-100.

El Biomodificador será una muestra del producto, producido por la licuefacción mediante una olla a presión a 120°C durante unos 120 min mezclando etilenglicol, ácido sulfúrico con el residuo agroindustrial (Bagazo de Caña de Azúcar), el cual se caracteriza por tener un alto contenido lignocelulósico.

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

Esquema 3.2: realización de la Practica para la obtención del Biomodificador

								
<p>Imagen 3.9: Matraz, pipeta, probeta graduada</p>	<p>Imagen 3.10: Etilenglicol y Ácido Sulfúrico,</p>	<p>Imagen 3.11: Olla a Presión</p>	<p>Imagen 3.12: Mezclado del bagazo de caña de azúcar con etilenglicol</p>	<p>Imagen 3.13: Mezclado del bagazo de caña de azúcar con etilenglicol y ácido sulfúrico</p>	<p>Imagen 3.14: Olla a presión con 4 litros de agua, a 120°C por 120 min con una llama constante de la cocinilla para obtener el biomodific ador</p>	<p>Imagen 3.15: Obtención del Biomodific ador</p>	<p>Imagen 3.16: Tamizado del Biomodific ador</p>	<p>Imagen 3.17: Biomodific ador retenido en los tamices N°50, N°100 y N°200</p>

Fuente: Elaboración Propia

3.3. MATERIAL DE APORTACIÓN

3.3.1. AGREGADOS

3.3.1.1 DISEÑO GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D422 – AASHTO T88)

INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas pueden denominarse densas, open-graded o gap-graded. Estas denominaciones dependen de la granulometría de la mezcla. Todo diseño de mezclas asfálticas parte del diseño de los agregados.

Los agregados pueden proceder de diferentes canteras, la calidad de los materiales deberá ser evaluado en el laboratorio para verificar si cumple con las especificaciones técnicas.

Objetivo

Este ensayo tiene por objeto determinar la granulometría de los agregados hasta el tamiz #200, mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

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

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Tabla 3.1: Resumen de resultados de granulometría grava, gravilla y arena

Peso Total (gr.)		Grava 5000 gr	Gravilla 5000 gr	Arena 5000 gr	formada 15000 gr
Tamices	tamaño (mm)	% que pasa del total			
1"	25,4	100,00	100,00	-	100,00
3/4"	19,0	90,86	100,00	-	96,95
1/2"	12,5	21,28	100,00	100,00	73,75
3/8"	9,50	4,71	99,83	100,00	68,17
Nº4	4,75	0,63	21,58	95,97	39,37
Nº8	2,36	0,57	1,57	76,53	26,19
Nº16	1,18	0,57	0,89	56,04	19,14
Nº30	0,60	0,56	0,80	37,04	12,77
Nº50	0,30	0,56	0,76	22,72	7,98
Nº100	0,15	0,54	0,74	10,74	3,97
Nº200	0,075	0,46	0,71	6,29	2,45
BASE	-	0,04	0,04	0,04	0,00

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADOS FINOS

DOCUMENTO REFERENCIAL (ASTM C-128)

El método es como sigue:

1. Aproximadamente 1000 gr. de agregado fino se seca a peso constante.
2. Se sumerge el material por 24 horas en agua.
3. La muestra se extiende en una superficie plana y se expone a una corriente de aire caliente.
4. La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando el material cae al invertirse el cono en el que la muestra del material fue suavemente compactada.
5. Aproximadamente 500 gr. del material en la condición saturada superficialmente seca se colocan en un matraz que se llena con agua y se eliminan los aires atrapados.
6. El agregado se saca del matraz, se seca al horno a peso constante
7. La gravedad específica se calcula de la siguiente manera:

A peso en el aire del agregado seco al horno

B peso del matraz (picnómetro) con agua

C peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca

D Peso del material saturado superficialmente seco (500+10 gr)

$$\text{gravedad específica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{gravedad específica seca bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$\text{gravedad específica sat. sup. seca bulk, } G_{ssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

$$\text{absorción(\%)} = \left(\frac{D - A}{A} \right) * 100$$

Objetivo

Este método de ensayo cubre la determinación de la medida la densidad de una cantidad de partículas de agregado fino, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino según ASTM C128-12.

El procedimiento de la práctica se verá en el ANEXO 1

3.3.1.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADOS GRUESOS (GRAVA, GRAVILLA), ASTM C-127

GRAVEDAD ESPECÍFICA

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). La ecuación usada es:

$$gravedad\ específica = \frac{peso}{volumen * peso\ específico}$$

Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1.0gr/cm³, convirtiendo la ecuación de la gravedad específica en:

$$gravedad\ específica = \frac{peso}{volumen}$$

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

Gravedad Específica Seca Aparente

Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca) y Saturada Superficialmente Seca Bulk²

Gravedad Específica Efectiva

El procedimiento de la práctica se verá en el ANEXO 1

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Tabla 3.2: Resumen de resultados de peso específico Arena, grava, gravilla

AGREGADO	P. E. A GRANEL (gr/cm ³)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	P. E. APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
ARENA	2,51	2,55	2,63	1,89
GRAVA	3,68	3,73	3,90	1,56
GRAVILLA	2,49	2,54	2,63	2,08

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.4. ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES DOCUMENTO REFERENCIAL (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.

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

Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser los más resistentes que los agregados

usados en capas inferiores, como la sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El ensayo de desgaste de los ángeles, ASTM C-131 (para agregados menores de 1 ½”), mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o abrasión.

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.

OBJETIVO

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.

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

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Tabla 3.3: Resumen de resultados de peso específico grava, gravilla y arena

AGREGADO	MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
GRAVA	A	5000,00	3739,2	25,22	35% MAX
	B	-	-	-	35% MAX
GRAVILLA	C	5000	3793,5	24,13	35% MAX
	D	-	-	-	35% MAX

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.5. EQUIVALENTE DE ARENAS Y AGREGADOS FINOS

(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D 2419)

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm). El término “Equivalente de Arena” transmite el concepto que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezcla de partículas gruesas, arenas y generalmente finos.

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena; después de un período de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

Este método proporciona una manera rápida de campo para determinar cambios en la calidad de agregados durante la producción o colocación.

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

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Tabla 3.4: Resultado del Equivalente de Arena

N° de Muestra	H1 (cm)	H2 (cm)	Equivalente de Arena (%)
1	9,9	10,60	93,40
2	11,3	12,15	93,00
3	10,8	11,70	92,31
		Promedio	92,90

Equivalente de Arena (%)	NORMA
92,90	> 50%

Fuente: Elaboración Propia

3.4. Cantidad de ensayos a realizar

Tabla 3.5: Cantidad de ensayos de caracterización

% de biomodificador	Penetración	Dúctilidad	Viscosidad	P.de ablandamiento	P.de inflamación	Peso específico
0.5	×	×	×	×	×	×
1	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×	×
6	×	×	×	×	×	×
8	×	×	×	×	×	×
10	×	×	×	×	×	×

Fuente: Elaboración Propia

Se realizarán un total de **42 ensayos de caracterización** del cemento asfáltico mezclado con porcentajes de Biomodificador, más los **6 ensayos de caracterización** del cemento asfáltico convencional serán un total de **48 ensayos**.

Para la obtención del número de muestras de la mezcla asfáltica con el cemento asfáltico biomodificado, se estima una cantidad igual al número de briquetas que se necesitarán para realizar los ensayos de Resistencia de la estabilidad Marshall, como se muestra a continuación:

Tabla 3.6: Cantidad de ensayos de resistencia de la estabilidad Marshall

% de biomodificador en el cemento asfáltico	15 briquetas por cada porcentaje para la resistencia de la estabilidad Marshall
0.5	×
1	×
2	×
3	×
6	×

Para los ensayos de la resistencia de la estabilidad Marshall se realizaran un total de **75 briquetas** con porcentajes de Biomodificador, más 15 briquetas con cemento asfáltico convencional serán un total de 90 Briquetas.

3.5. CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO MEZCLADO CON EL BIOMODIFICADOR CON DISTINTOS PORCENTAJES

Descripción

Después de haber obtenido los resultados de la caracterización del cemento asfáltico 85/100 convencional y teniendo el Biomodificador (bagazo de Caña de Azúcar), luego de ser secado en el horno y de ser tamizado se procederá a la mezcla del cemento asfáltico con el Biomodificador en porcentajes de **(0.5%, 1%, 2%, 3%, 6%)**, luego del Mezclado se realizara los mismos ensayos que se realizaran con el cemento asfáltico 85/100 convencional donde se obtendrá resultados que posteriormente serán analizados.

Procedimiento del Ensayo

Para todas las mezclas de cemento asfáltico añadiendo porcentajes de Biomodificador se realizara el mismo procedimiento que se muestra en las imágenes a continuación:

Imagen 3.4: Mezcla del cemento asfáltico 85/100 añadiendo porcentajes de Biomodificador





Fuente: Elaboración Propia

Al mezclar el cemento asfáltico 85/100 con el biomodificador ay q tomar en cuenta la temperatura de la mezcla tiene que ser a 150°C y ay que mantener un ritmo constante de mezclado por unos 30min y luego dejarlo reposando sin mezclarlo a la misma temperatura por unos 30 min más para que la mezcla sea completada.

3.5.1. CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO

CONVENCIONAL Y CEMENTO ASFALTICO CON PORCENTAJES DE BIOMODIFICADOR

Para la caracterización del cemento asfaltico con porcentajes de Biomodificador se realizaran los mismos ensayos de caracterización que se utilizan para el cemento asfaltico convencional por lo que el procedimiento.

El procedimiento de toda la caracterización del cemento asfaltico convencional y cemento asfaltico con porcentajes de Biomodificador se verán en el ANEXO 2.

3.5.1.1. ENSAYO DE PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS. (DESIGNACIÓN AASHTO: T 49-93) (DESIGNACIÓN ASTM: D 5-86)

ALCANCE

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.

DESCRIPCIÓN DE TÉRMINO

La penetración de un material bituminoso es la distancia en décimas de milímetro que una aguja normalizada penetra verticalmente bajo las condiciones fijas de temperatura, carga y tiempo

RESUMEN DEL MÉTODO

La muestra se funde y se refresca bajo las condiciones controladas. La penetración es medida con un penetrómetro por medio de una aguja normalizada se aplica a la muestra bajo las condiciones específicas.

Imagen 3.5: Realización del ensayo de penetración.



Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.2. VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Este método cubre los procedimientos empíricos para determinar la viscosidad cinemática de productos de petróleo a temperaturas especificadas de 135°C. Un procedimiento especial para los productos cerosos es incluido.

Imagen 3.6: Realización del ensayo de Viscosidad



Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.3. DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS.

(DESIGNACIÓN AASHTO: T 51-93) (DESIGNACIÓN ASTM: D 113-79)

ALCANCE

La ductilidad de un material bituminoso es medida por la distancia en centímetros a la cual se alargará antes de romper cuando se tiran dos extremos de un espécimen de la briqueta del material, estos extremos son separados a una velocidad especificada y a una temperatura especificada. A menos que por otra parte se especifique, el ensayo se hará a una temperatura de $25 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 0.2^{\circ}\text{F}$) y con una velocidad de 50 mm por minuto ± 2.5 mm por minuto. A otras temperaturas la velocidad debe especificarse.

SIGNIFICADO Y UTILIZACIÓN

Este método de ensayo proporciona una medida de propiedades tensores de materiales bituminosos y puede usarse para medir ductilidad para los requisitos de la especificación.

Imagen 3.7: Realización del ensayo de Ductilidad



Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.4. PUNTO DE INFLAMACIÓN POR EL VASO ABIERTO DE

CLEVELAND.DOCUMENTO REFERENCIAL (ASTM D1310-01 AASHTO T7996)

ALCANCE

Este método cubre la determinación del punto de inflamación, por el Ensayo del Vaso Abierto de Cleveland, de productos de petróleo y otros líquidos, excepto los aceites de combustible y esos materiales que tienen un punto de inflamación de vaso abierto debajo de 79°C (175°F).

DEFINICIONES

Punto de destello

Es la temperatura más baja corregida a una presión barométrica de 101.3 kPa, a la aplicación del fuego (llama) causa el vapor de un espécimen para encender bajo las condiciones especificadas del ensayo.

Punto de inflamación

Es la temperatura más baja a la que un espécimen se mantendrá quemándose durante 5 segundos.

RESUMEN DEL MÉTODO

El vaso del ensayo se llena hasta un nivel especificado con la muestra. La temperatura de la muestra es aumentada rápidamente al principio y entonces a una proporción lenta constante a medida que el punto de destello se aproxima. En intervalos especificados una llama pequeña se pasa por el vaso.

La temperatura más baja a que la aplicación de la llama causa vapores sobre la superficie del líquido es denominada como el punto de destello. Para determinar el punto de inflamación, se continúa con el ensayo hasta que la aplicación de la llama ocasiona que el aceite se incendie y se queme durante por lo menos 5 segundos.

Imagen 3.8: Realización del ensayo de Punto de Inflamación



Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.5. PUNTO DE ABLANDAMIENTO (APARATO DEL ANILLO Y ESFERA) (DESIGNACIÓN AASHTO: T 53-92) (DESIGNACIÓN ASTM: D 36-89)

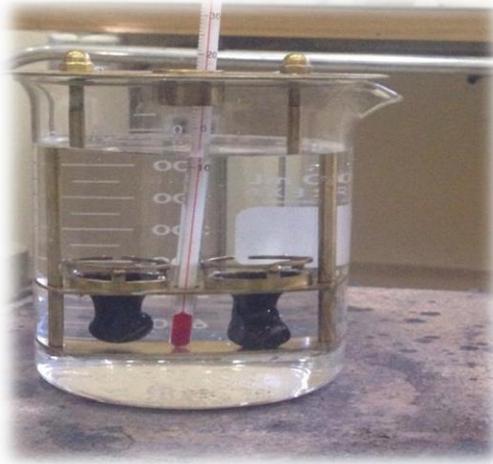
ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de ablandamiento de betún en el rango de 30 a 157°C (86 a 315°F) usando el aparato de la anillo-y-esfera sumergido en agua destilada, glicerina USP o glicol del etileno.

RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

Dos discos horizontales de betún, fundidos en anillos de latón de apoyo, están acalorando a una proporción controlada en un baño líquido mientras soportan una esfera de acero. El punto de ablandamiento se informa como las temperaturas a las cuales los dos discos se ablandan suficiente para permitir cada esfera, envolvió en betún, se caiga una distancia de 25 mm (1.0 in.).

Imagen 3.9: Realización del ensayo de Punto de Ablandamiento



Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.6. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMI-SÓLIDOS (DESIGNACIÓN AASHTO: T 228-93)

(DESIGNACIÓN ASTM: D 70-76)

ALCANCE

Este método cubre la determinación de la gravedad específica de materiales bituminosos semi-sólidos, cementos del asfalto, y los alquitranes suaves por uso de un picnómetro.

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:

$$\text{Gravedad Específica} = 25/25^{\circ}\text{C} (77/77^{\circ}\text{F}) \text{ o } 15.6/15.6^{\circ}\text{C} (60/60^{\circ}\text{F})$$

DETERMINACIÓN

Calcule la gravedad específica al tercer decimal más cercano como sigue:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{C - A}{B - A - D + C}$$

Donde:

A = la masa del picnómetro (más el tapón)

B = la masa del picnómetro lleno con agua

C = la masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto

D = la masa del picnómetro más el asfalto más agua

Imagen 3.10: Realización del ensayo de Peso Especifico



Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS DE LAS PRÁCTICAS:

Tabla 3.7: Resumen de los resultados de Caracterización del cemento asfáltico convencional y cemento asfáltico con porcentajes de Biomodificador.

porcentaje De Biomodificador	Peso Específico	Punto de Inflamación	Ductilidad	Penetración	viscosidad	Punto de Ablandamiento
Convencional	1.008	>288	109	95	308	43
0.5 %	1.017	>286	87	74	310	44
1 %	1.023	>273	66	64	311	45
2 %	1.028	>269	61	63	313	46
3 %	1.031	>264	58	60	315	48
6 %	1.038	>240	33	34	322	50
8 %	1.046	NO se realizo	26	27	327	52
10 %	1.057	NO se realizo	21	20	330	54

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

DISEÑO, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para conocer y analizar posteriormente la incidencia de agregar porcentajes de Biomodificador (bagazo de caña de azúcar), en el cemento asfáltico que afecta en las mezclas asfálticas modificadas se realizó el siguiente procedimiento, que se describe a continuación:

Se realizaron diferentes mezclas modificadas añadiendo distintos porcentajes de Biomodificador (bagazo de caña de azúcar), al cemento asfáltico donde se obtuvieron resultados de caracterización del cemento asfáltico con diferentes porcentajes de Biomodificador obteniendo 5 porcentajes (0.5%, 1%, 2%, 3%, 6%) que se utilizaran para hacer el ensayo Marshall.

4.2. PROCEDIMIENTO MARSHALL

Realizadas las briquetas se llevaron estas a la prensa Marshall para determinar: peso específico total, análisis de la densidad, contenido de vacíos de las briquetas, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall.

A continuación se presenta un esquema mediante fotografías del proceso completo del ensayo hasta la prensa Marshall.

Imagen 4.1: Elaboración de Briquetas



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 4.2: Compactación con martillo con 75 golpes por cara.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 4.3: Desmoldado de briquetas después de un reposo mínimo de 2 hrs



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 4.4: Colocado de briquetas en la mordaza Marshall



Fuente: Elaboración Propia

Hacer correr y lecturar el dial de Estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de deformación para el Flujo.

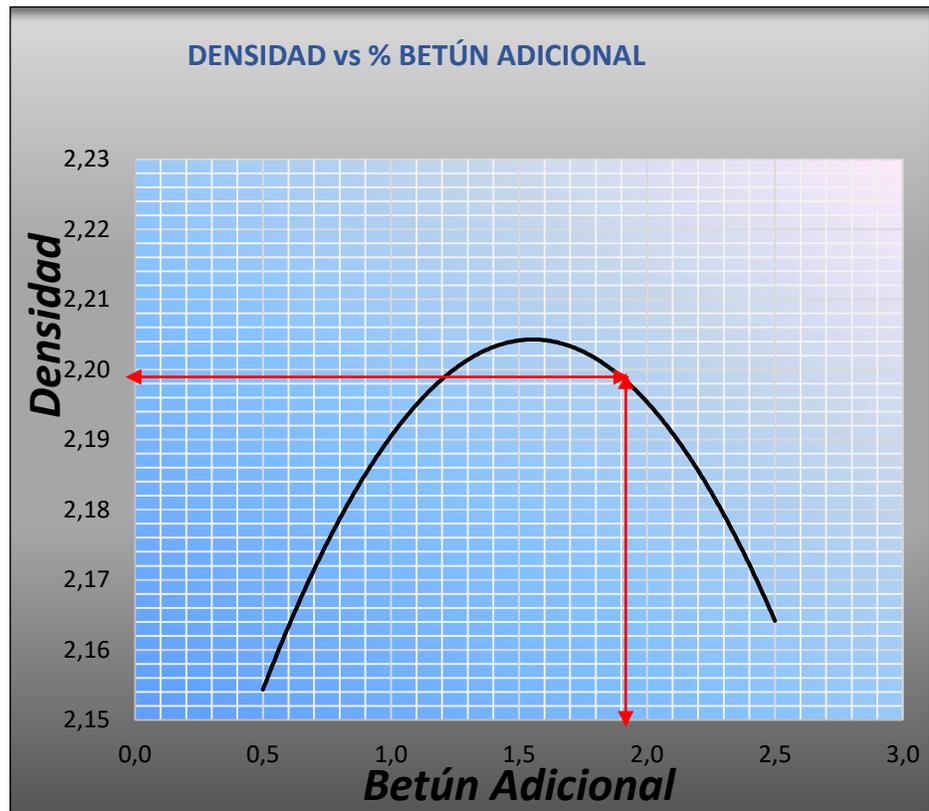
4.3. METODO MARSHALL

4.3.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE TRABAJO CON ASFALTO CONVENCIONAL

		UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJA-BOLIVIA) DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: INVESTIGACIÓN: "ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS RESIDUOS AGRONOMICOS APLICADOS COMO BIOMODIFICADORES PARA ASFALTOS CONVENCIONALES."											FECHA 20 DE ABRIL DE 2016											
		MUESTRA SIN MODIFICAR AGREGADO CHARAJA											LABORATORISTA: GABRIEL CRUZBEJARANO											
pesos especificos		% de agregado		BETÓN											AGREGADO		%							
Mat. Retenido Tamiz N°4		3,40		60,63		CEMENTO ASFALTICO 85-100											Grava		3,90		30			
Mat. Pasa Tamiz N°4		2,63		39,37		PESO ESPECIFICO TOTAL AASHTO T-228											Gravilla		2,65		20		N de golpes 75	
peso especifico total		3,05		100		10080											Arena		2,63		50			
peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)											peso especifico maximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)				Estabilidad Marshall					Flujo				
N° de probeta	altura de probeta	% de Betón			Peso Briqueta			Volume	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Flujo				
		Inicial	Adicional	Total	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en ag	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M. (vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion	carga real correccion	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio		
		%	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	pulg	-	-		
1	5,90				1179,9	1187,5	645,0	542,5	2,17						70,0	1866,7	1,134	2,117		175	0,0689			
2	6,10	4,04	0,5	4,54	1172,7	1198,6	655,0	543,6	2,16	2,16	2,79	5,00	14,71	66,01	62,5	1664,8	1,071	1783	1902	160	0,0630			
3	6,00				1182,5	1186,4	633,0	553,4	2,14						61,5	1637,9	1,103	1807		169	0,0665	6,61		
4	6,10				1178,5	1194,6	645	549,6	2,14						68,8	1834,4	1,071	1965		170	0,0669			
5	6,50	4,04	1	5,04	1175,4	1193,7	662	531,7	2,21	2,18	2,77	4,80	15,71	69,44	69,2	1845,2	0,963	1776	1834	180	0,0709	6,96		
6	6,30				1181,3	1192,8	653	539,8	2,19						65,2	1737,5	1,013	1760		180	0,0709			
7	6,2				1176,8	1191,5	668	523,5	2,25						58,8	1565,1	1,040	1628		190	0,0748			
8	6,2	4,04	1,5	5,5	1179,4	1191,3	662	529,3	2,23	2,22	2,74	4,60	16,80	72,63	58,2	1549	1,040	1611	1678	200	0,0787	7,48		
9	5,9				1172,5	1189,4	653	536,4	2,19						59,5	1584	1,134	1796		180	0,0709			
10	5,8				1178,2	1188,6	652	536,6	2,20						52,1	1384,7	1,165	1613		210	0,0827			
11	6,3	4,04	2	6,0	1174,2	1187,6	649	538,6	2,18	2,18	2,72	4,40	17,48	74,83	51,1	1357,8	1,013	1375	1461	220	0,0866	8,27		
12	6,2				1176,3	1184,5	643	541,5	2,17						50,5	1341,6	1,040	1395		200	0,0787			
13	5,6				1174,7	1182,5	645	537,5	2,19						45,5	1207	1,235	1491		210	0,0827			
14	5,7	4,04	2,5	6,5	1173,6	1182,1	635	547,1	2,15	2,17	2,69	3,50	17,56	80,07	42,1	1115,4	1,198	1336	1390	210	0,0827	8,33		
15	5,6				1178,6	1183,5	641	542,5	2,17						41,1	1088,5	1,235	1344		215	0,0846			
especificacion		minimo												3		18		75				8		
		maximo												5				82				14		

4.3.1.1. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

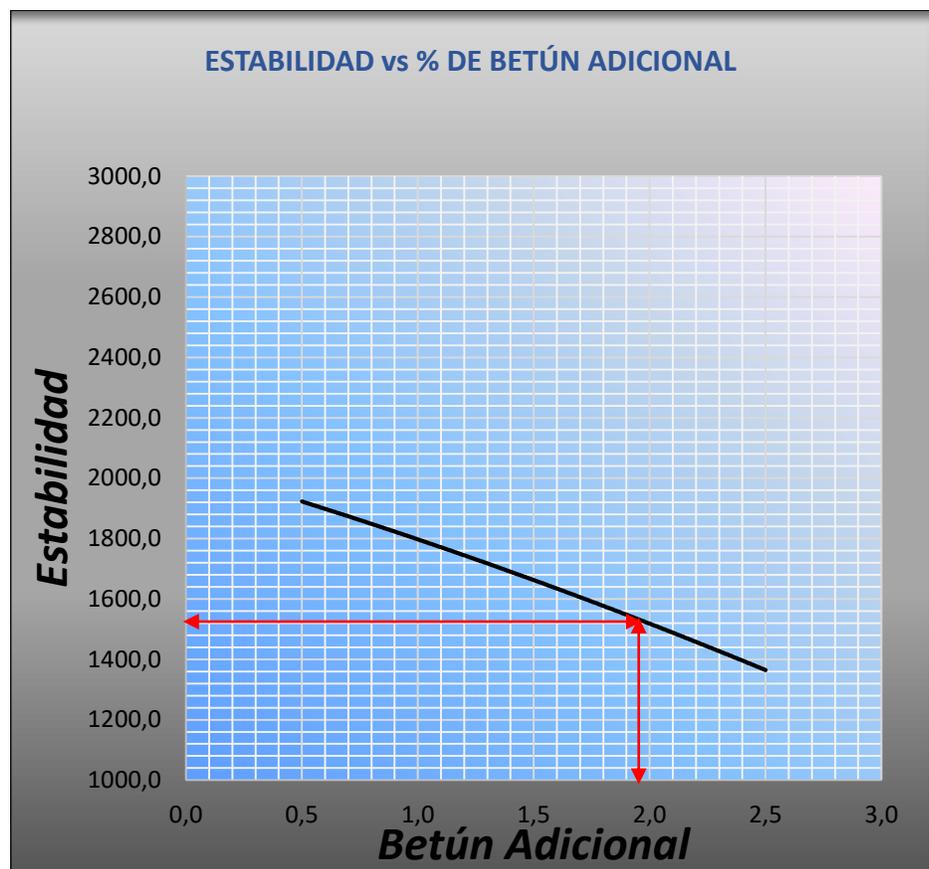
Figura 4.1: Curva Densidad vs % Betún Adicional



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa que la densidad es directamente proporcional al % de Betún Adicional, es decir que a mayor % de Betún Adicional, mayor será la Densidad. A su vez el % Óptimo de Betún Adicional recae sobre el promedio de la Densidad.

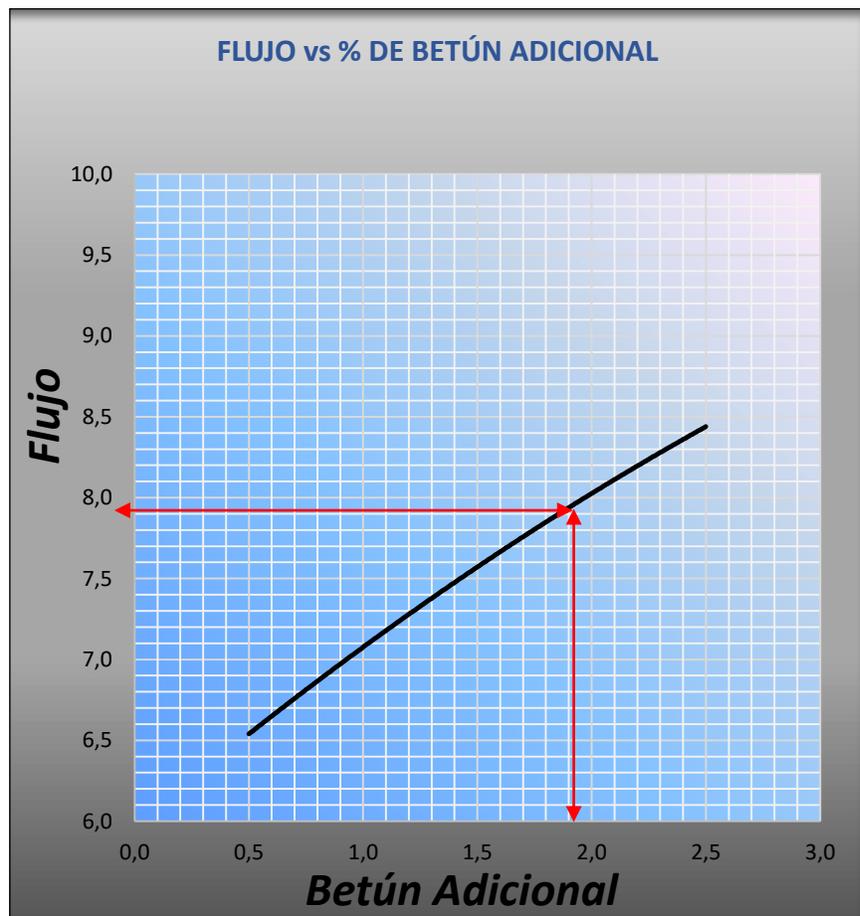
Figura 4.2: Curva Estabilidad vs % Betún Adicional



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa que la Estabilidad crece a medida que el % de Betún Adicional aumenta, es decir que a mayor % de Betún Adicional, mayor será la Estabilidad.

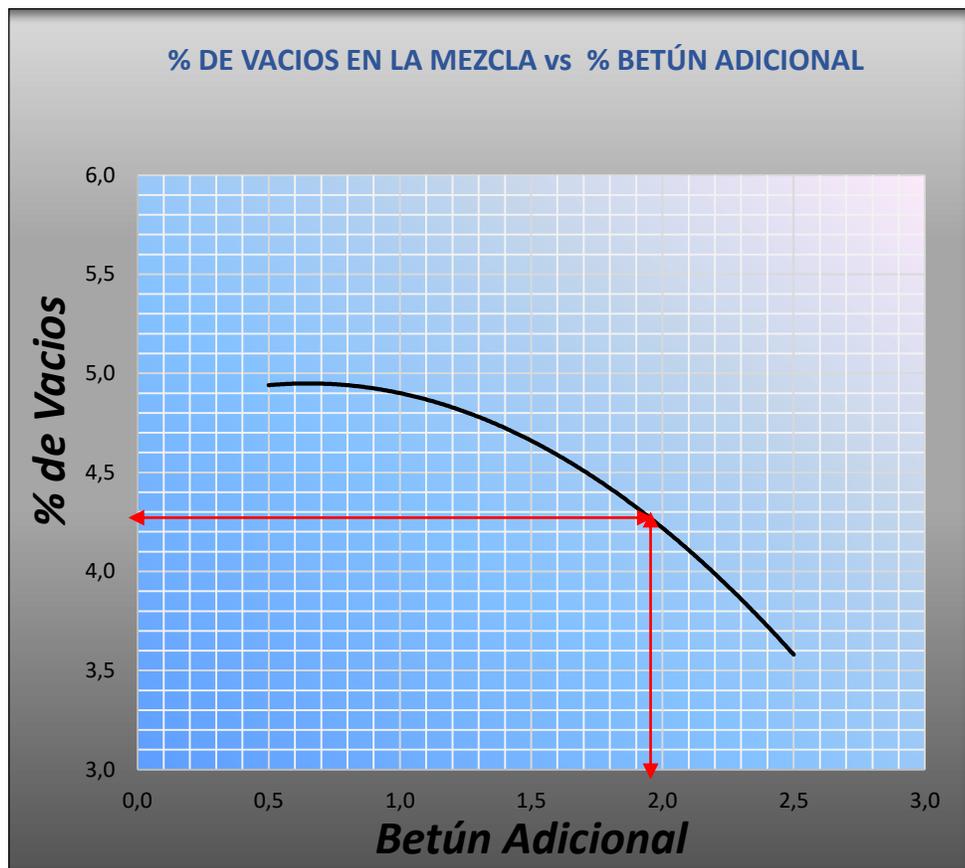
Figura 4.3: Curva Flujo vs % Betún Adicional



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa que el Flujo es proporcional al % de Betún Adicional, es decir que a mayor % de Betún Adicional, mayor será el Flujo.

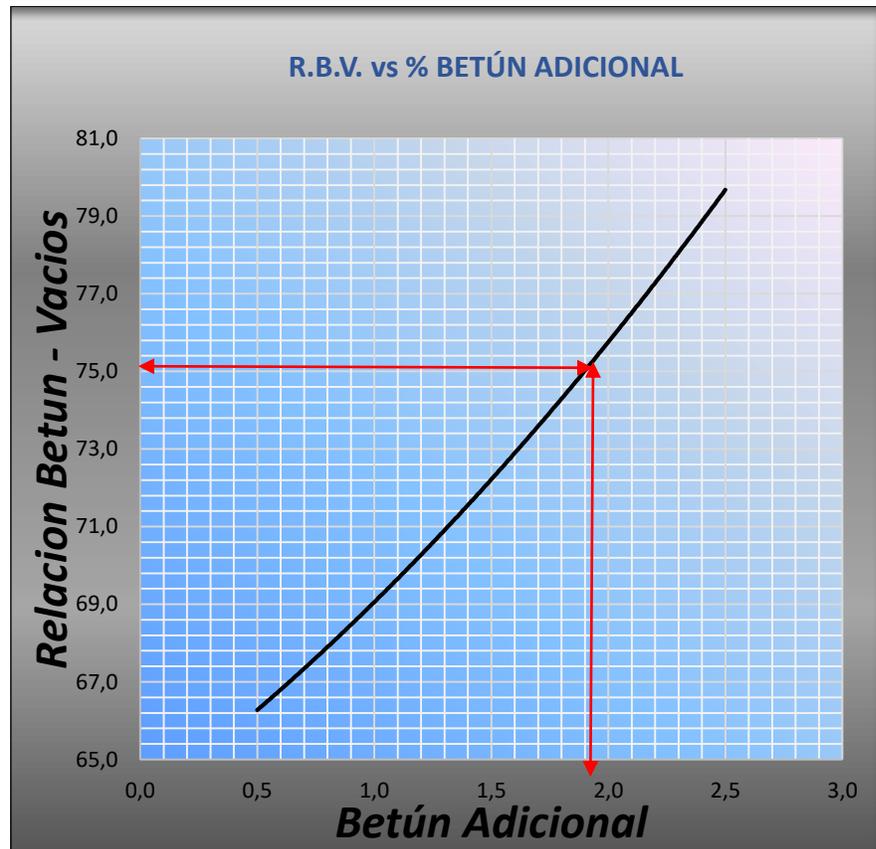
Figura 4.4: Curva % de Vacíos vs % Betún Adicional



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa que el % de Vacíos es inversamente proporcional al % de Betún Adicional, es decir que a mayor % de Betún Adicional, existiría menos Vacíos en la carpeta Asfáltica

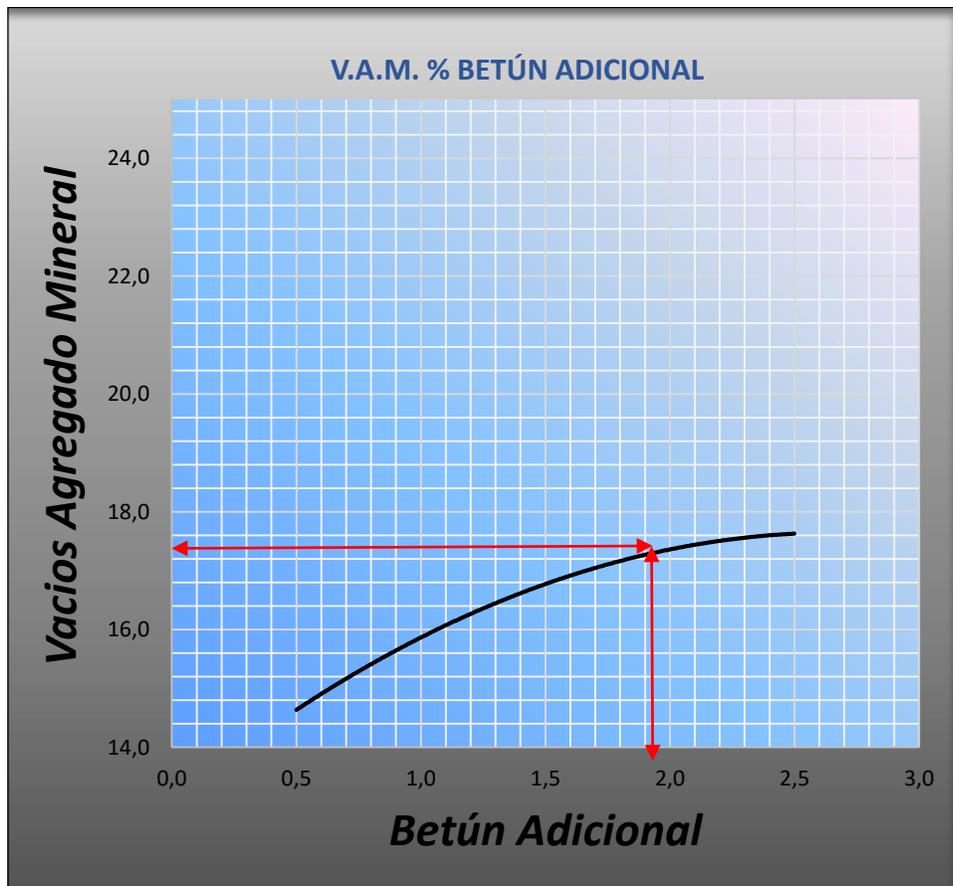
Figura 4.5: Curva Relación Betún - Vacíos vs % Betún Adicional



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa que la relación Betún – Vacíos es directamente proporcional al % de Betún Adicional, es decir que a mayor % de Betún Adicional, mayor será la Relación Betún – Vacíos.

Figura 4.6: Curva Vacíos Agregado Mineral vs % Betún Adicional



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico se observa que los Vacíos del Agregado Mineral generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con los aumentos de % de Betún Adicional. En este caso el Porcentaje Optimo de Betún Adicional expresa un valor intermedio de Vacíos de Agregado Mineral.

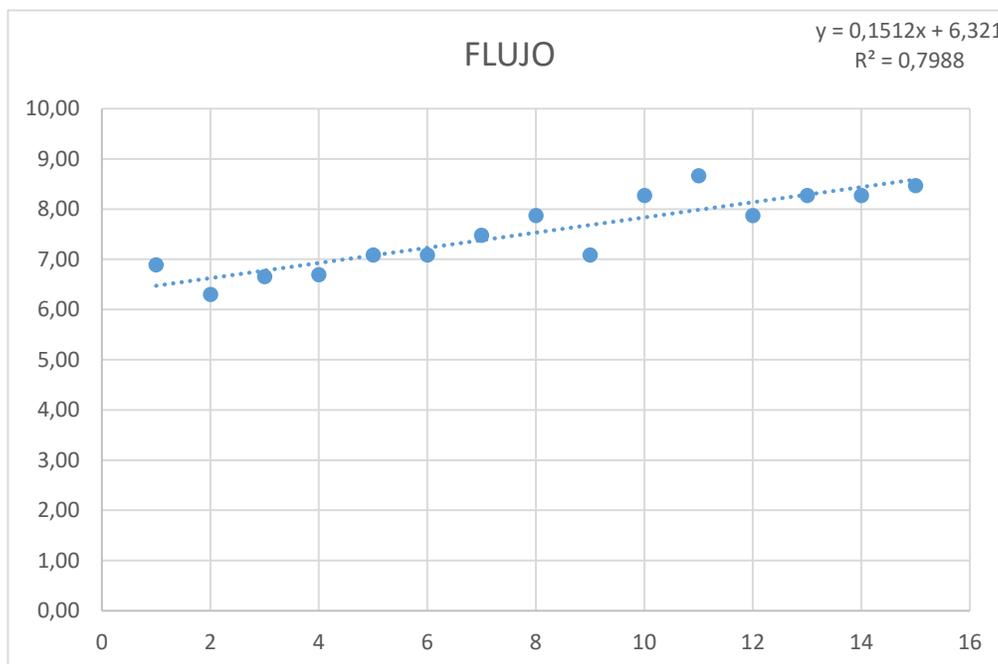
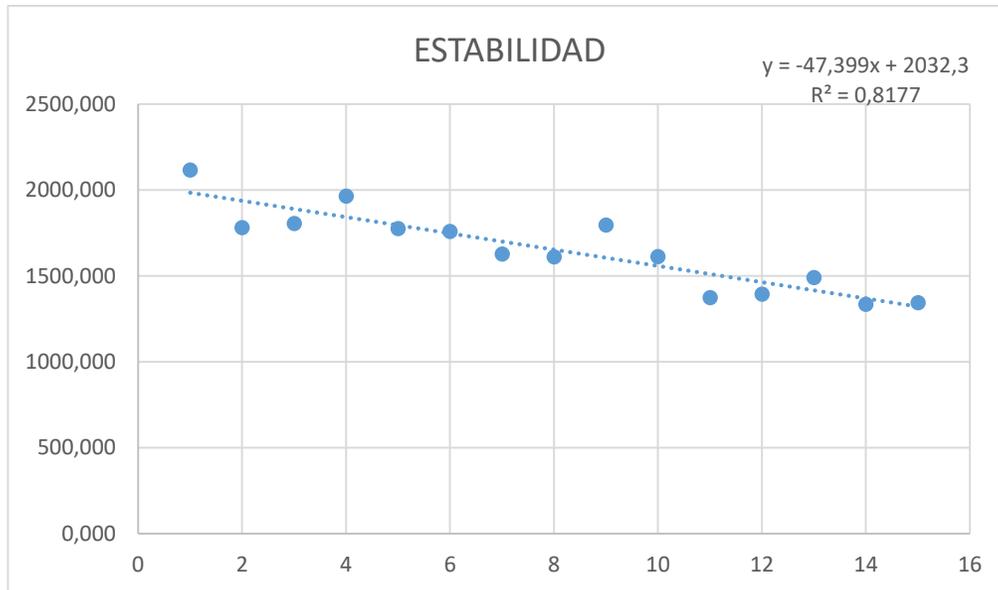
4.3.1.2. TRATAMIENTO ESTADISTICO BASICO

Nº	flujo	Nº	estabilidad
1	6,89	1	2116,882
2	6,30	2	1782,978
3	6,65	3	1806,549
4	6,69	4	1964,669
5	7,09	5	1776,001
6	7,09	6	1760,072
7	7,48	7	1627,751
8	7,87	8	1610,948
9	7,09	9	1796,250
10	8,27	10	1613,208
11	8,66	11	1375,451
12	7,87	12	1395,308
13	8,27	13	1490,648
14	8,27	14	1336,306
15	8,46	15	1344,322

SUMATORIA	120,0	113,0	24797,3
numero de datos	15	15	15
MEDIA (hd)	8,000	7,530	1653,156
DESVIACIÓN (Sd)	4,472	0,756	234,410
MODA (Ed)	5,988	7,190	1547,672
CARACTERÍSTICA (Kd)	1,341	0,189	0,272
MEDIANA		7,480	1627,751

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.7: ESTABILIDAD Y FLUJO DEL CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.3. CEMENTO ASFALTICO ÓPTIMO PARA LA INVESTIGACION

Tabla 4.2: Resumen para la determinación del Porcentaje Optimo de Betún Adicional

PORCENTAJE DE BETÚN ADICIONAL	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
0,5	2,16	1902,14	6,61	5,00	66,01	14,71
1,0	2,18	1833,58	6,96	4,80	69,44	15,71
1,5	2,22	1678,32	7,48	4,60	72,63	16,80
2,0	2,18	1461,32	8,27	4,40	74,83	17,48
2,5	2,17	1390,43	8,33	3,50	80,07	17,56
Valor promedio	2,18	1653,16	7,53	4,46	72,60	16,45
Porcentaje de Betún Adicional para cada valor promedio	1,20	1,54	1,50	1,80	3,1	2,6
PROMEDIO FINAL	1,96					

En la tabla 4.1 se determinan los valores promedios de densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos, relación betún – vacíos, y vacíos de agregado mineral, con los cuales entramos a las ecuaciones de las curvas de tendencia y obtenemos el porcentaje de betún adicional para cada valor promedio luego se determina una media de los valores promedio de porcentajes de betún adicional, este valor llega a ser el porcentaje óptimo de betún adicional.

EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE BETÚN ADICIONAL CON EL QUE SE TRABAJARA PARA LA INVESTIGACION SERA IGUAL AL 1,96%, MÁS EL 4.04% QUE SE UTILIZÓ COMO BASE SERÁ UN TOTAL DE 6%

4.3.2. CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO AÑADIENDO EL 0.5% DE BIOMODIFICADOR

		UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA-BOLIVIA) DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: INVESTGACIÓN : "ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES APLICADOS COMO BIOMODIFICADORES PARA ASFALTOS CONVENCIONALES."													FECHA 20 DE ABRIL DE 2016 LABORATORISTA: GABRIEL CRUZ BEJARANO													
		MUESTRA CON 0,5% DE BIOMODIFICADOR AL BEIUN AGREGADO SAN MATEO																										
pesos específicos		% de agregado		BETÓN										AGREGADO		%												
Mat. Retenido Tamiz N°4		3,40	60,63	CEMENTO ASFALTICO 85-100										Grava	3,90	30	NUMERO DE GOLPES 75											
Mat. Pasa Tamiz N°4		2,63	39,37	PESO ESPECIFICO TOTAL AASHTO T-228										Gravilla	2,65	20												
peso especifico total		3,05	100											Arena	2,63	50												
peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)										peso especifico maximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)																		
N° de probeta	altura de probeta	% de Betún			Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall				Flujo									
		Inicial	Adicional de Biomodificador	Total	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla tota	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio						
		%	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%		libras		libras	libras	Pulg	-	-						
1	6,42	5,97	0,03	6	1188,5	1192,6	638	554,6	2,14	2,16	2,722	4,89	17,65	72,32	735	1960,99	0,983	1926,67	1765,0	180	0,0630	6,50						
2	6,48				1187,5	1197,4	640	557,4	2,13						650	1732,10	0,968	1875,81		185	0,0650							
3	6,38				1186,4	1190,5	655	535,5	2,22						640	1705,17	0,993	1892,38		170	0,0669							
4	6,41	5,97	0,03	6	1185,3	1189,4	644	545,4	2,17	2,15	2,722	4,87	17,57	72,26	705	1880,20	0,985	1852,00	1856,8	190	0,0748	6,96						
5	6,37				1189,2	1193,7	642	551,7	2,16						715	1907,13	0,995	1897,60		175	0,0689							
6	6,42				1191,4	1195,6	635	560,6	2,13						695	1853,27	0,983	1820,84		185	0,0650							
7	6,44	5,97	0,03	6	1192,7	1196,5	644	552,5	2,16	2,14	2,722	4,86	17,50	72,20	645	178,63	0,978	1879,97	1708,6	180	0,0630	6,63						
8	6,39				1196,3	1200,1	642	558,1	2,14						655	1745,56	0,990	1728,11		170	0,0669							
9	6,45				1188,6	1192,3	632	560,3	2,12						661	1761,72	0,975	1717,68		175	0,0689							
10	6,42	5,97	0,03	6	1189,4	1193,5	638	555,5	2,14	2,15	2,722	4,87	17,57	72,26	605	1810,92	0,983	1882,73	1872,4	185	0,0650	6,69						
11	6,47				1195,4	1199,4	641	558,4	2,14						655	1745,56	0,970	1893,20		175	0,0689							
12	6,45				1187,7	1191,4	645	546,4	2,17						670	1785,95	0,975	1741,31		170	0,0669							
13	6,42	5,97	0,03	6	1188,4	1192,6	643	549,6	2,16	2,14	2,722	4,86	17,49	72,20	684	1823,65	0,983	1791,74	1779,7	190	0,0748	7,55						
14	6,48				1189,5	1193,4	638	555,4	2,14						695	1853,27	0,968	1793,04		200	0,0787							
15	6,45				1195,4	1199,8	635	564,8	2,12						675	1799,42	0,975	1754,43		185	0,0728							
especificacion					minimo											3	18	75					1800			8		
					maximo											5	82											14

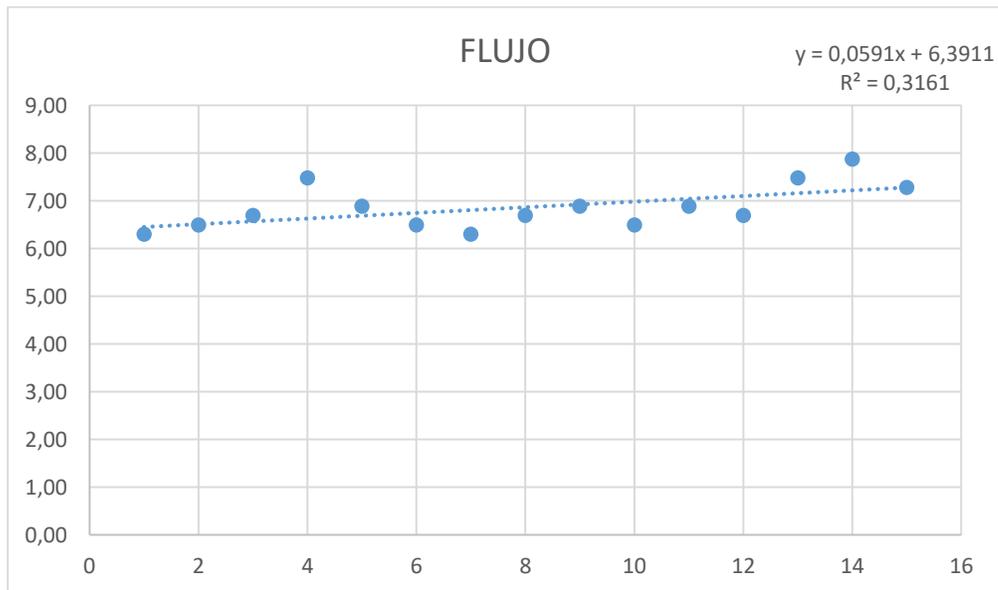
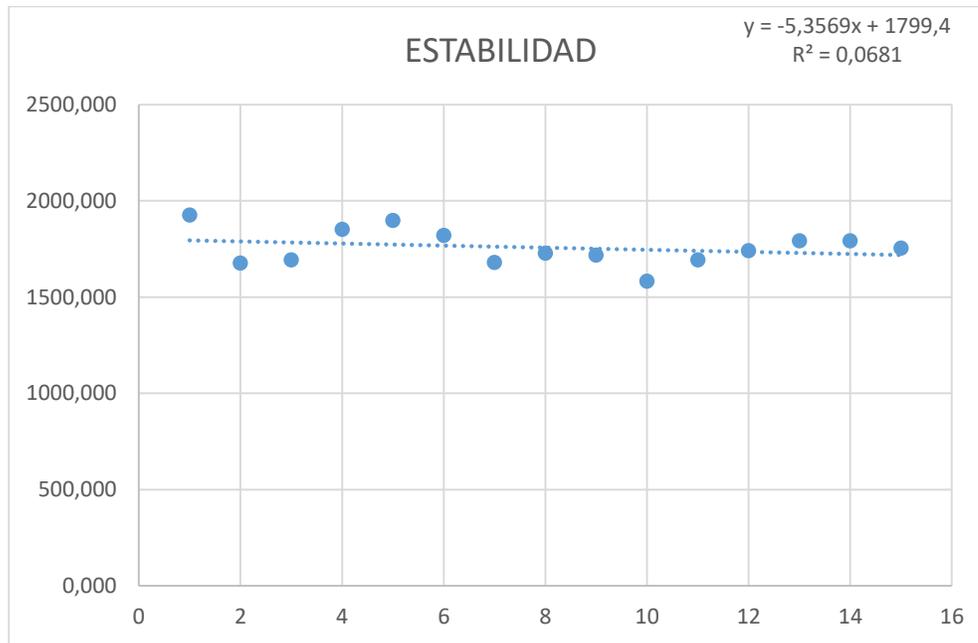
4.3.2.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO BASICO

Nº	flujo	Nº	estabilidad
1	6,30	1	1926,669
2	6,50	2	1675,806
3	6,69	3	1692,382
4	7,48	4	1852,000
5	6,89	5	1897,595
6	6,50	6	1820,842
7	6,30	7	1679,965
8	6,69	8	1728,107
9	6,89	9	1717,677
10	6,50	10	1582,732
11	6,89	11	1693,196
12	6,69	12	1741,306
13	7,48	13	1791,740
14	7,87	14	1793,043
15	7,28	15	1754,433

SUMATORIA	120,0	103,0	26347,5
numero de datos	15	15	15
MEDIA (hd)	8,000	6,864	1756,500
DESVIACIÓN (Sd)	4,472	0,470	91,782
MODA (Ed)	5,988	6,652	1715,198
CARACTERÍSTICA (Kd)	1,341	0,127	0,096
MEDIANA		6,693	1741,306

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.8: ESTABILIDAD Y FLUJO CON 0.5%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.3: Resumen de resultados del método Marshall del cemento asfáltico óptimo añadiendo 0.5 % de Biomodificador

PORCENTAJE DE BIOMODIFICADOR (%)	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
0,50	2,16	1764,95	6,50	4,89	72,32	17,65
0,50	2,15	1856,81	6,96	4,87	72,26	17,57
0,50	2,14	1708,58	6,63	4,86	72,20	17,50
0,50	2,15	1672,41	6,69	4,87	72,26	17,57
0,50	2,14	1779,74	7,55	4,86	72,20	17,49
Valor promedio	2,15	1756,50	6,86	4,87	72,25	17,55

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.2 se determinan los valores promedios de densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos, relación betún – vacíos, y vacíos de agregado mineral, con estos resultados de los valores promedios se elaborara una tabla de resumen 4,7 donde dichos resultados serán analizados en las gráficas 4,6: 4,7: 4,8 donde se verá la mejor mezcla asfáltica variando el porcentajes de Biomodificador.

4.3.3. CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO AÑADIENDO EL 1% DE BIOMODIFICADOR

		UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARJA-BOLIVIA) DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: INVESTIGACIÓN : "ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES APLICADOS COMO BIOMODIFICADORES PARA ASFALTOS CONVENCIONALES."											FECHA 20 DE ABRIL DE 2016										
		MUESTRA CON 1% DE BIOMODIFICADOR AL BETUN						AGREGADO SAN MATEO					LABORATORISTA: GABRIEL CRUZ BIZARANO										
pesos especificos		%de agregado		BETUN			AGREGADO		%														
Mat. Retenido Tamiz N°4	3,40	60,63		CEMENTO ASFALTICO 85-100			Grava	3,90	30		NUMERO DE GOLPES 75												
Mat. Pasa Tamiz N°4	2,63	39,37		PESO ESPECIFICO TOTAL AASHIO T-228			Gravilla	2,65	20														
peso especifico total	3,05	100		10230			Arena	2,63	50														
peso especifico bulk de merclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)				peso especifico maximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)																			
N° de probeta	altura de probeta	% de Betún			Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall			Flujo					
		Inicial	Adicional de Biomodificado	Total	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezela tota	Y.A.M. (vacios agregado mineral)	R.B.Y. (relacion betumen)	lectura del dial	carga	Factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio
		%	%	%	gms.	gms.	gms.		cc	gms/cm ³	gms/cm ³	gms/cm ³	%	%	%	libras		libras	libras	Pulg	-	-	
1	6,45	5,94	0,06	6	1186,5	1192,6	640	552,6	2,15	2,15	2,725	4,25	16,83	74,75	855	2284,12	0,975	2227,02	2292,5	255	0,1004	8,46	
2	6,47				1185,4	1197,4	638	559,4	2,12						890	2378,37	0,970	2307,02		215	0,0846		
3	6,40				1184,2	1190,5	645	545,5	2,17						888	2372,99	0,988	2343,32		175	0,0689		
4	6,44	5,94	0,06	6	1183,6	1189,4	648	541,4	2,19	2,16	2,725	4,01	16,69	75,97	897	2397,22	0,978	2343,28	2339,1	260	0,1024	8,60	
5	6,42				1186,7	1193,0	645	548,0	2,17						892	2383,76	0,983	2342,04		180	0,0709		
6	6,45				1189,2	1195,6	638	557,6	2,13						895	2391,83	0,975	2332,04		215	0,0846		
7	6,41	5,94	0,06	6	1187,4	1196,5	644	552,5	2,15	2,16	2,725	3,55	16,20	78,09	905	2418,76	0,985	2382,48	2350,3	245	0,0965	9,19	
8	6,44				1194,7	1200,1	651	549,1	2,18						895	2391,83	0,978	2338,02		235	0,0925		
9	6,52				1184,2	1192,3	641	551,3	2,15						910	2432,23	0,958	2330,32		220	0,0866		
10	6,45	5,94	0,06	6	1186,8	1193,5	648	545,5	2,18	2,18	2,725	3,25	16,02	79,71	886	2367,60	0,975	2308,41	2331,8	240	0,0945	8,60	
11	6,42				1192,5	1199,4	651	548,4	2,17						884	2362,21	0,983	2320,88		225	0,0886		
12	6,48				1185,6	1191,4	648	543,4	2,18						915	2445,69	0,968	2366,21		190	0,0748		
13	6,46	5,94	0,1	6	1186,3	1192,6	645	547,6	2,17	2,16	2,725	4,21	16,87	75,04	978	2615,34	0,973	2543,42	2464,0	225	0,0886	8,85	
14	6,41				1186,8	1193,4	647	546,4	2,17						941	2515,70	0,985	2477,97		235	0,0925		
15	6,46				1193,5	1199,8	641	558,8	2,14						912	2437,61	0,973	2370,58		214	0,0843		
especificacion				maximo						3		18		75				1800				8	
				maximo						5		82										14	

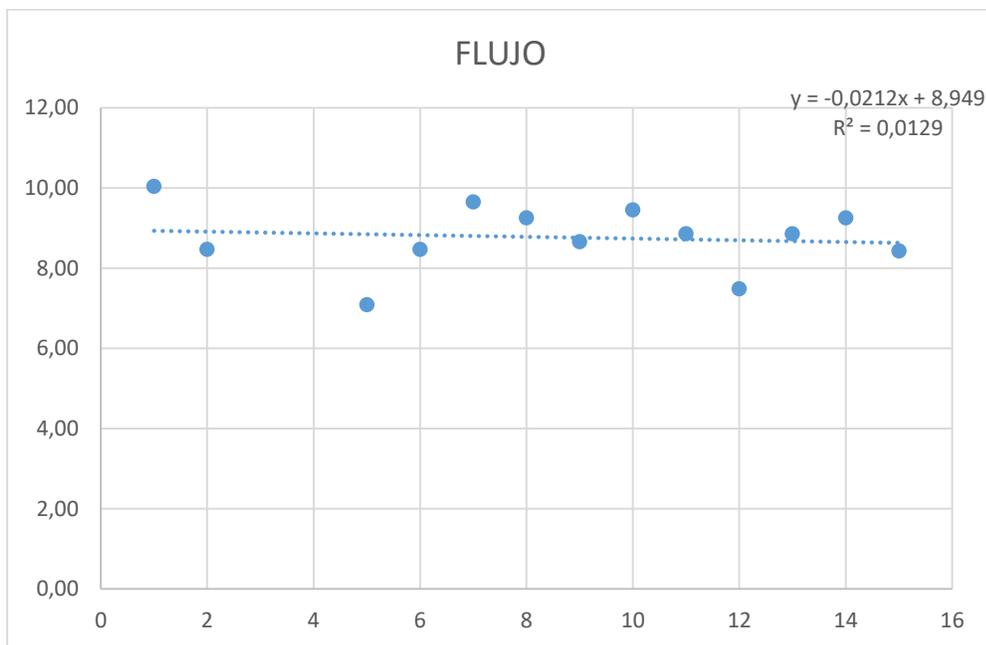
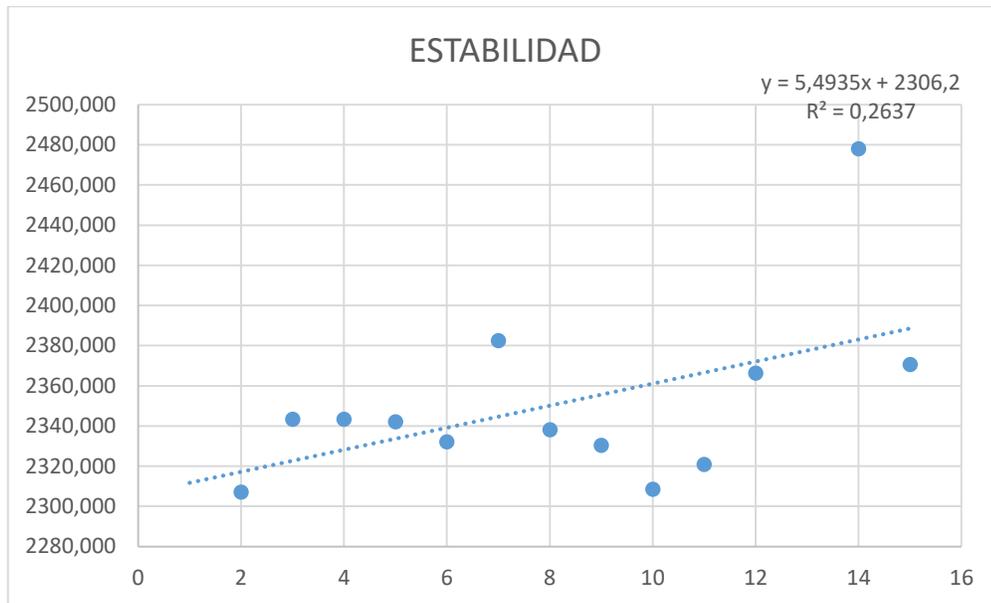
4.3.3.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO BASICO

Nº	flujo	Nº	estabilidad
1	10,04	1	2227,020
2	8,46	2	2307,020
3	6,89	3	2343,323
4	10,24	4	2343,283
5	7,09	5	2342,041
6	8,46	6	2332,039
7	9,65	7	2382,481
8	9,25	8	2338,018
9	8,66	9	2330,316
10	9,45	10	2308,410
11	8,86	11	2320,875
12	7,48	12	2366,206
13	8,86	13	2543,415
14	9,25	14	2477,968
15	8,43	15	2370,578

SUMATORIA	120,0	113,9	30562,6
numero de datos	15	13	13
MEDIA (hd)	8,000	8,764	2350,966
DESVIACIÓN (Sd)	4,472	0,823	44,288
MODA (Ed)	5,988	8,394	2331,036
CARACTERÍSTICA (Kd)	1,341	0,176	0,034
MEDIANA		8,858	2342,041

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.9: ESTABILIDAD Y FLUJO CON 1%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.4: Resumen de resultados del método Marshall del cemento asfáltico óptimo añadiendo 0.5 % de Biomodificador

PORCENTAJE DE BIOMODIFICADOR (%)	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (Libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
1	2,15	2292,45	8,46	4,25	74,75	16,83
1	2,16	2339,12	8,60	4,01	75,97	16,69
1	2,16	2350,27	9,19	3,55	78,09	16,20
1	2,18	2331,83	8,60	3,25	79,71	16,02
1	2,16	2463,99	8,85	4,21	75,04	16,87
Valor promedio	2,16	2355,53	8,74	3,85	76,71	16,52

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.3 se determinan los valores promedios de densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos, relación betún – vacíos, y vacíos de agregado mineral, con estos resultados de los valores promedios se elaborara una tabla de resumen 4,7 donde dichos resultados serán analizados en las gráficas 4,6: 4,7: 4,8 donde se verá la mejor mezcla asfáltica variando el porcentajes de Biomodificador.

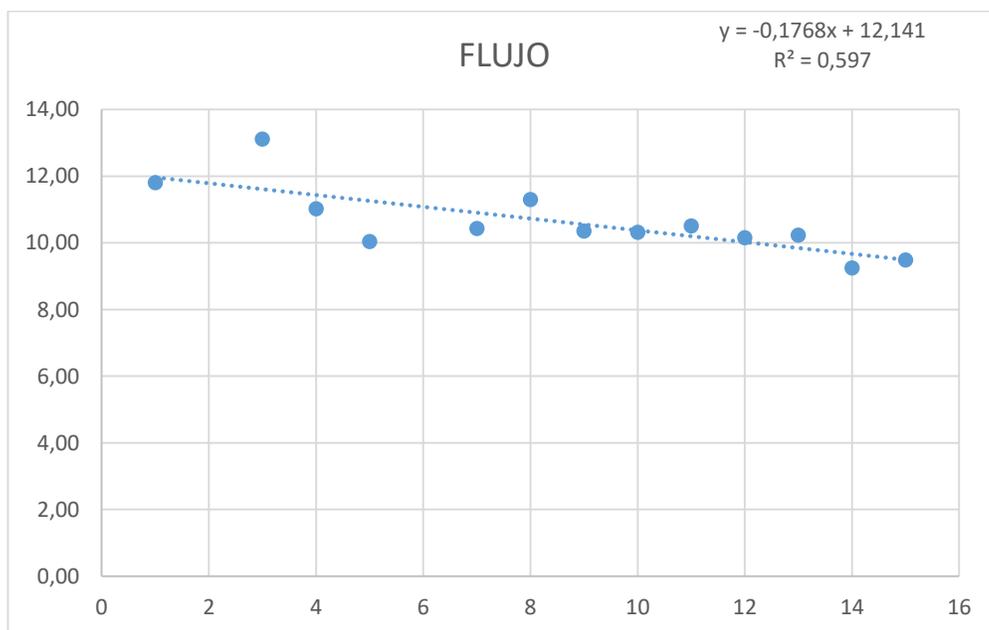
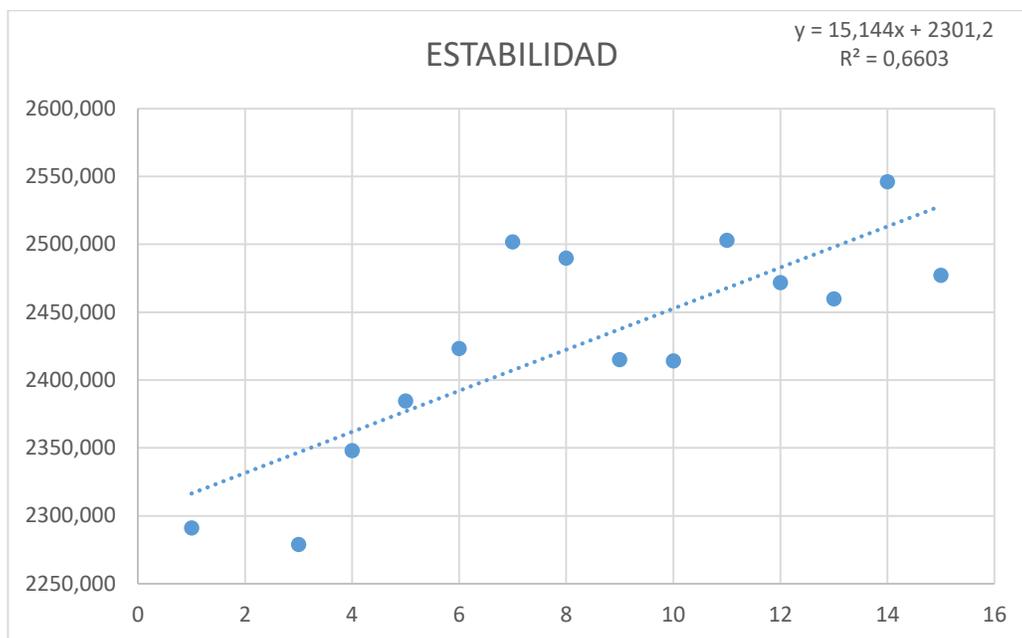
4.3.4.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO BASICO

Nº	flujo	Nº	estabilidad
1	11,81	1	2291,047
2	13,97	2	2251,434
3	13,11	3	2278,717
4	11,02	4	2347,969
5	10,04	5	2384,548
6	8,85	6	2423,166
7	10,43	7	2501,840
8	11,30	8	2489,861
9	10,35	9	2415,075
10	10,31	10	2414,162
11	10,51	11	2502,921
12	10,16	12	2471,829
13	10,24	13	2459,845
14	9,25	14	2545,963
15	9,49	15	2477,085

SUMATORIA	120,0	138,0	34004,0
numero de datos	15	13	14
MEDIA (hd)	8,000	10,618	2428,859
DESVIACIÓN (Sd)	4,472	1,013	80,316
MODA (Ed)	5,988	10,162	2392,717
CARACTERÍSTICA (Kd)	1,341	0,179	0,060
MEDIANA		10,354	2441,506

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.10: ESTABILIDAD Y FLUJO CON 2%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.5: Resumen de resultados del método Marshall del cemento asfáltico óptimo añadiendo 2 % de Biomodificador

PORCENTAJE DE BIOMODIFICADOR (%)	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
2	2,18	2273,73	12,97	4,55	73,64	17,26
2	2,19	2385,23	9,97	5,10	71,50	17,89
2	2,18	2468,93	10,70	5,60	69,48	18,35
2	2,18	2462,97	10,33	3,84	76,83	16,58
2	2,18	2494,30	9,66	4,80	72,63	17,54
Valor promedio	2,18	2417,03	10,72	4,78	72,82	17,52

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.4 se determinan los valores promedios de densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos, relación betún – vacíos, y vacíos de agregado mineral, con estos resultados de los valores promedios se elaborara una tabla de resumen 4,7 donde dichos resultados serán analizados en las gráficas 4,6: 4,7: 4,8 donde se verá la mejor mezcla asfáltica variando el porcentajes de Biomodificador.

4.3.5. CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO AÑADIENDO EL 3% DE BIOMODIFICADOR

		UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA-BOLIVIA) DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: INVESTIGACIÓN : "ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS RESIDUOS AGRONOMICOS APLICADOS COMO BIOMODIFICADORES PARA ASFALTOS CONVENCIONALES."											FECHA 20 DE ABRIL DE 2016 LABORATORISTA: GABRIEL CRUZ BEJARANO										
		MUESTRA CON 3% DE BIOMODIFICADOR AL BETUN AGREGADO SAN MATEO																					
pesos especificos				% de agregado		BETUN						AGREGADO		%									
Mat. Retenido Tamiz N°4		3,40		60,63		CEMENTO ASFALTICO 85-100						Grava		3,90		30							
Mat. Pasa Tamiz N°4		2,63		39,37		PESO ESPECIFICO TOTAL AASHO T-228						Gravilla		2,65		20							
peso especifico total		3,05		100								Arena		2,63		50							
peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)											peso especifico maximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)												
N° de probeta	altura de probeta	% de Betún			Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall				Flujo				
		Inicial	Adicional de Biomodificado	Total	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla tota	V.A.M. (vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen)	lectura del dial	carga	factor de correccion	carga real corregida	carga promedio	lectura dial del flujo	flujo real	flujo promedio
		%	%	%	grs.	grs.	grs.		cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%		libras		libras	libras	Pulg	-	-
1	6,51			1195,1	1199,6	640	560,0	2,13							765	2041,77	0,960	1960,10		400	0,1575		
2	6,62	5,82	0,18	6	1192,0	1196,5	637	560,0	2,13	2,13	2,728	5,50	17,91	69,28	755	2044,84	0,939	1892,74	1937,0	395	0,1555	15,52	
3	6,41				1194,2	1198,7	639	560,0	2,13						745	1987,91	0,985	1958,10		388	0,1528		
4	6,63				1189,4	1193,9	634	560,0	2,12						763	2036,39	0,938	1909,31		405	0,1594		
5	6,52	5,82	0,18	6	1188,6	1193,1	633	560,0	2,12	2,12	2,728	5,20	17,56	70,39	785	2095,63	0,958	2007,82	1972,9	408	0,1606	15,91	
6	6,51				1191,2	1195,7	636	560,0	2,13						781	2084,86	0,960	2001,46		399	0,1571		
7	6,47				1194,5	1199,0	639	560,0	2,13						695	1853,27	0,970	1797,68		425	0,1673		
8	6,48	5,82	0,18	6	1196,5	1201,0	641	560,0	2,14	2,13	2,728	4,95	17,36	71,49	705	1880,20	0,968	1819,10	1804,8	404	0,1591	16,71	
9	6,61				1192,7	1197,2	637	560,0	2,13						716	1909,82	0,941	1797,72		444	0,1748		
10	6,35				1184,6	1189,1	629	560,0	2,12						765	2041,77	1,000	2041,77		455	0,1791		
11	6,45	5,82	0,18	6	1194,6	1199,1	639	560,0	2,13	2,13	2,728	4,75	17,12	72,26	765	2041,77	0,975	1990,73	1995,6	405	0,1594	16,55	
12	6,47				1192,7	1197,2	637	560,0	2,13						755	2044,84	0,970	1954,40		401	0,1579		
13	6,52				1191,6	1196,1	636	560,0	2,13						748	1995,99	0,958	1912,36		406	0,1598		
14	6,25	5,82	0,18	6	1195,4	1199,9	640	560,0	2,13	2,13	2,728	4,80	17,20	72,09	764	2039,08	1,027	2094,13	1998,1	398	0,1567	15,47	
15	6,35				1191,8	1196,3	636	560,0	2,13						745	1987,91	1,000	1987,91		375	0,1476		
especificacion				minimo								3		18		75						8	
				maximo								5		82								14	

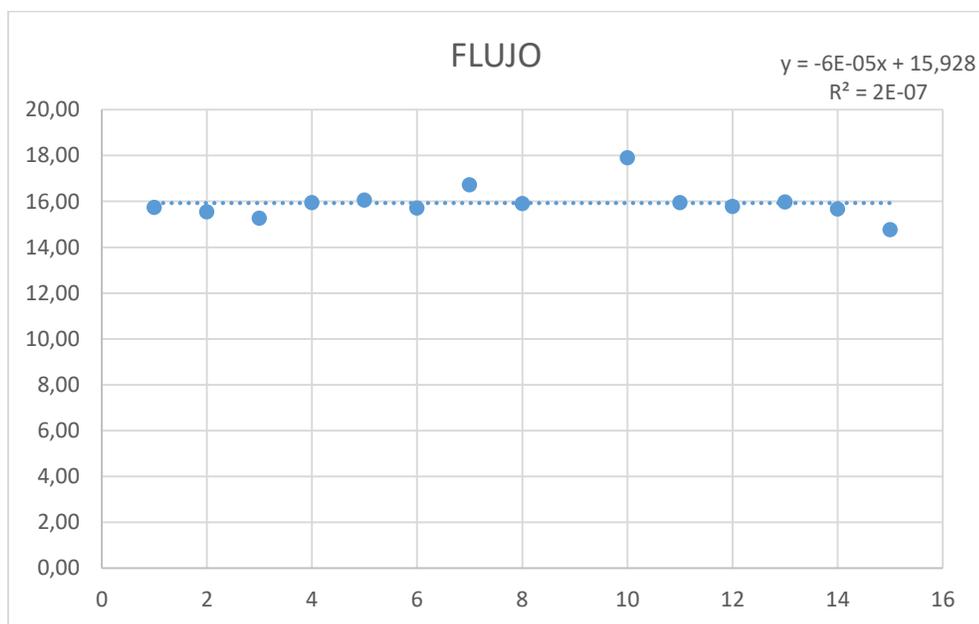
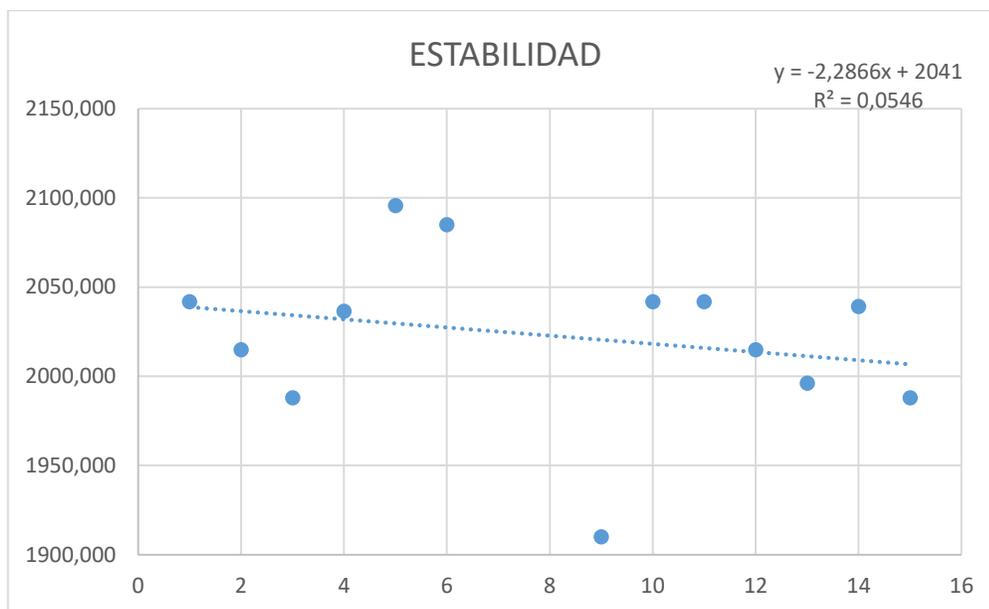
4.3.5.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO BASICO

Nº	flujo	Nº	estabilidad
1	15,75	1	2041,771
2	15,55	2	2014,843
3	15,28	3	1987,915
4	15,94	4	2036,385
5	16,06	5	2095,627
6	15,71	6	2084,856
7	16,73	7	1797.68
8	15,91	8	1819.10
9	17.48	9	1909,824
10	17,91	10	2041,771
11	15,94	11	2041,771
12	15,79	12	2014,843
13	15,98	13	1995,993
14	15,67	14	2039,078
15	14,76	15	1987,915

SUMATORIA	120,0	223,0	26292,6
numero de datos	15	14	13
MEDIA (hd)	8,000	15,928	2022,507
DESVIACIÓN (Sd)	4,472	0,718	47,193
MODA (Ed)	5,988	15,605	2001,270
CARACTERÍSTICA (Kd)	1,341	0,083	0,042
MEDIANA		15,846	2036,385

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.11: ESTABILIDAD Y FLUJO CON 3%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.6: Resumen de resultados del método Marshall del cemento asfáltico óptimo añadiendo 3 % de Biomodificador

PORCENTAJE DE BIOMODIFICADOR (%)	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
3	2,13	1936,98	15,52	5,50	69,28	17,91
3	2,12	1972,87	15,91	5,20	70,39	17,56
3	2,13	1804,83	16,71	4,95	71,49	17,36
3	2,13	1995,63	16,55	4,75	72,26	17,12
3	2,13	1998,14	15,47	4,80	72,09	17,20
Valor promedio	2,13	1941,69	16,03	5,04	71,10	17,43

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.5 se determinan los valores promedios de densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos, relación betún – vacíos, y vacíos de agregado mineral, con estos resultados de los valores promedios se elaborara una tabla de resumen 4,7 donde dichos resultados serán analizados en las gráficas 4,6: 4,7: 4,8 donde se verá la mejor mezcla asfáltica variando el porcentajes de Biomodificador.

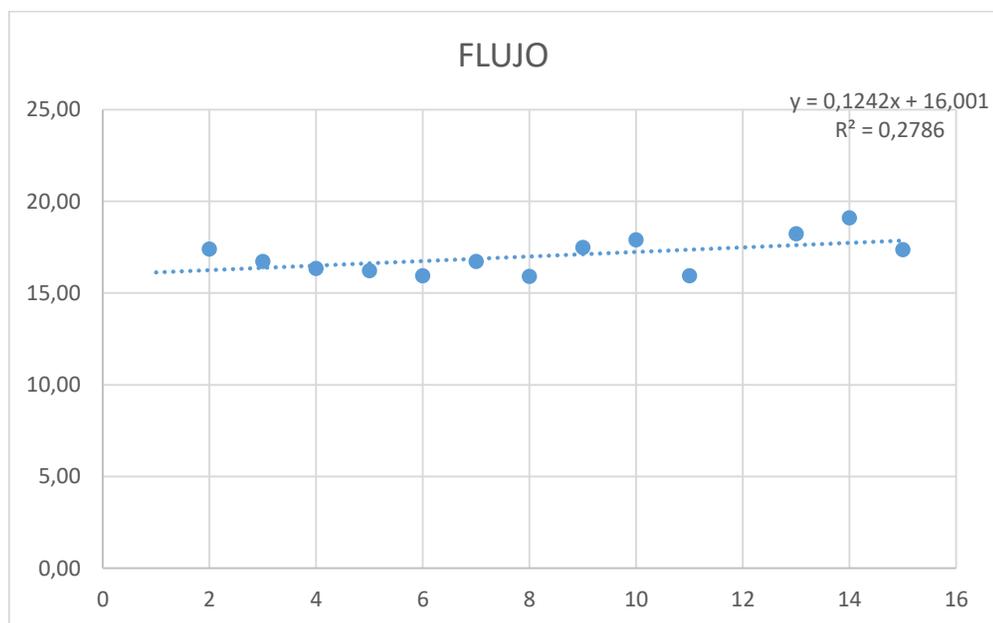
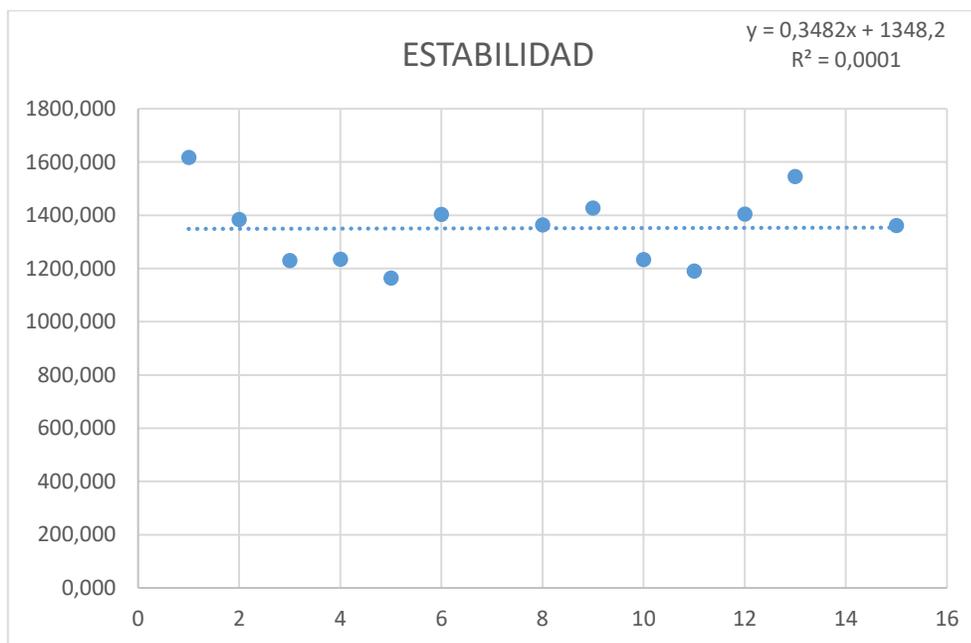
4.3.6.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO BASICO

Nº	flujo	Nº	estabilidad
1	21.85	1	1617,434
2	17,40	2	1384,290
3	16,73	3	1229,604
4	16,34	4	1234,204
5	16,22	5	1164,508
6	15,94	6	1403,698
7	16,73	7	1723.55
8	15,91	8	1364,257
9	17,48	9	1426,954
10	17,91	10	1233,828
11	15,94	11	1190,708
12	15.79	12	1404,527
13	18,23	13	1545,541
14	19,09	14	1064.28
15	17,36	15	1361,524

SUMATORIA	120,0	221,3	17561,1
numero de datos	15	13	13
MEDIA (hd)	8,000	17,023	1350,852
DESVIACIÓN (Sd)	4,472	0,994	136,693
MODA (Ed)	5,988	16,576	1289,340
CARACTERÍSTICA (Kd)	1,341	0,108	0,190
MEDIANA		16,732	1364,257

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.12: ESTABILIDAD Y FLUJO CON 6%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.7: Resultados del método Marshall del cemento asfáltico óptimo añadiendo 6 % de Biomodificador

PORCENTAJE DE BIOMODIFICADOR (%)	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
6	2,17	1410,44	18,66	6,50	65,90	19,06
6	2,17	1267,47	16,17	5,40	69,94	17,96
6	2,16	1504,92	16,71	5,35	70,05	17,86
6	2,17	1276,35	16,55	6,20	66,96	18,76
6	2,17	1323,78	18,23	4,80	72,33	17,35
Valor promedio	2,17	1356,59	17,26	5,65	69,04	18,20

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.6 se determinan los valores promedios de densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos, relación betún – vacíos, y vacíos de agregado mineral, con estos resultados de los valores promedios se elaborara una tabla de resumen 4,7 donde dichos resultados serán analizados en las gráficas 4,6: 4,7: 4,8 donde se verá la mejor mezcla asfáltica variando el porcentajes de Biomodificador.

4.4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS FINALES CON CADA PORCENTAJE DE BIOMODIFICADOR

Tabla 4.8: Resumen de resultados finales por cada porcentaje

PORCENTAJE DE BIOMODIFICADOR (%)	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (Libras)	FLUJO	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÚN VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
CEMENTO ASFALTICO	2,18	1653,16	7,53	4,46	72,60	16,45
0.5	2,15	1756,50	6,86	4,87	72,25	17,55
1	2,16	2355,53	8,74	3,85	76,71	16,52
2	2,18	2417,03	10,72	4,78	72,82	17,52
3	2,13	1941,69	16,03	5,04	71,10	17,43
6	2,17	1356,59	17,26	5,65	69,04	18,20

Fuente: Elaboración Propia

4.4.1. ANALISIS DE RESULTADOS

4.4.1.1. Análisis de resultados de la Caracterización del cemento asfáltico con porcentajes de Biomodificador

Se realizó la determinación de la caracterización física del cemento asfáltico con porcentajes de Biomodificador y se comparó con los resultados del cemento asfáltico convencional 85/100 donde se obtuvo el siguiente análisis:

La ductilidad en el cemento asfáltico con porcentaje de Biomodificador no cumplió con la norma y se redujo sustancialmente respecto al cemento asfáltico convencional 85/100 lo que puede significar una baja compatibilidad del asfalto con el Biomodificador.

Los valores de Penetración estuvieron fuera de la norma, sin embargo este ensayo demostró que con la presencia del Biomodificador en el cemento asfáltico presento una mayor dureza con relación al cemento asfáltico convencional lo que corrobora su aptitud para la elaboración en pavimentos en regiones cálidas.

El punto de ablandamiento y la viscosidad como criterio de evaluación de la estabilidad al almacenamiento para el cemento asfáltico con porcentaje de biomodificador (0.5%, 1%, 2%, 3%, 6%), están dentro de los valores de la norma.

Para el análisis de resultados que se realizara no se tomaran en cuenta los dos últimos porcentajes (8% y 10%), ya que el resultado del ensayo de punto de ablandamiento está al límite y en otro caso es mayor al valor de las especificaciones (42°C – 53°C), tampoco se pudo realizar el ensayo de punto de inflamación por el motivo que no alcanza la temperatura mínima que esta como especificación 232°C ya que al alcanzar la temperatura de los 200°C la mezcla tiene una reacción que es producida por el alto contenido de porcentaje de Biomodificador y una reacción química del etilenglicol y

el ácido sulfúrico como se muestra en la imagen, por lo que estos dos últimos porcentajes serán descartados para realizar el método Marshall.

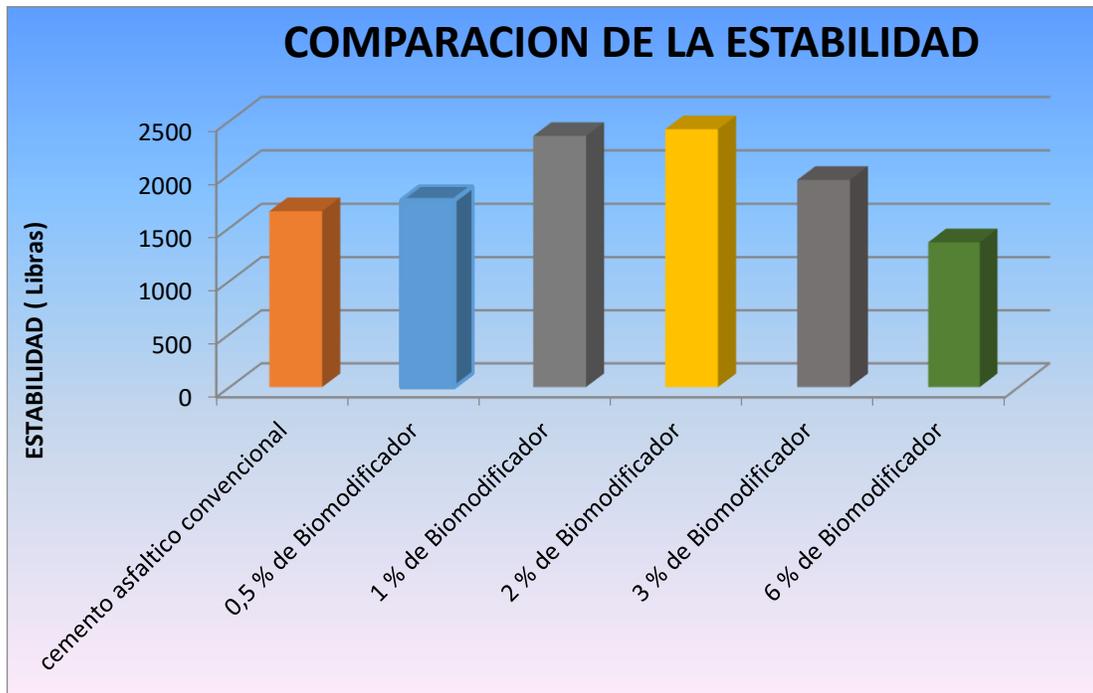
Imagen 4.5: Reacción de la mezcla debido al alto porcentaje de Biomodificador



Fuente: Elaboración Propia

4.4.1.2. Análisis de resultados del Método Marshall con diferentes porcentajes de Biomodificador

Figura 4.13: comparación de los resultados de la ESTABILIDAD



Fuente: Elaboración Propia

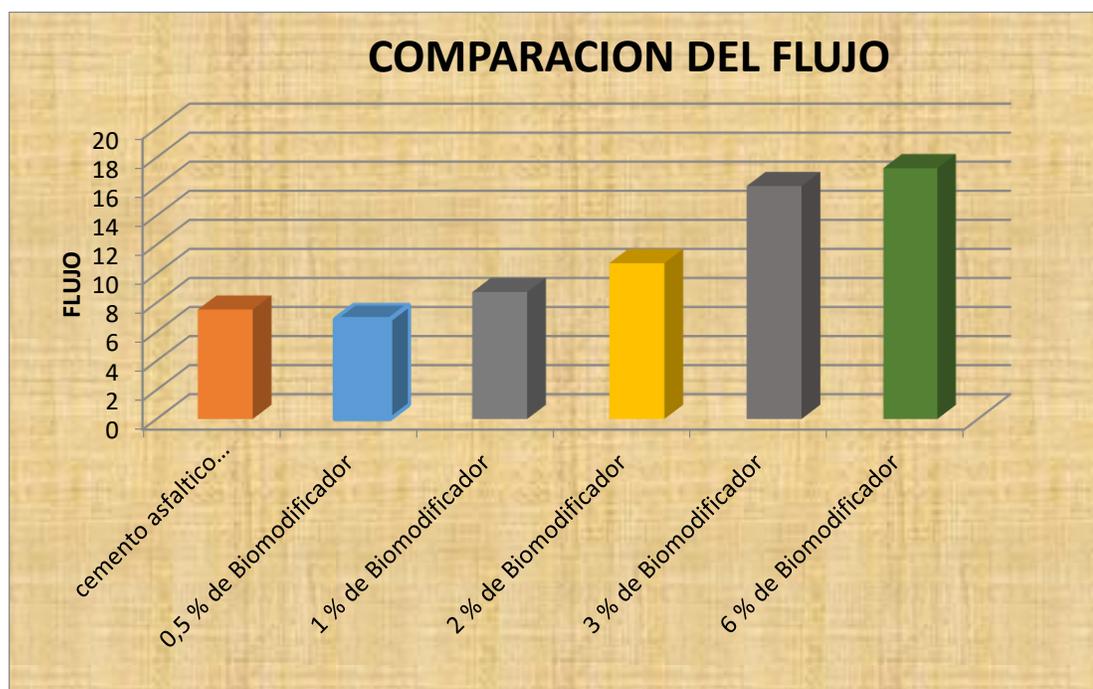
De acuerdo a los resultados de ESTABILIDAD del Marshall que por norma esta entre lo minimo es 1800 libras observamos en la gráfica que:

- en los porcentajes 0.5% 1% 2%, 3% tienden a aumentar sus valores considerablemente por arriba de la ESTABILIDAD del cemento asfáltico convencional como se muestra en el grafico
- El porcentaje de 6% baja su valor por debajo de la ESTABILIDAD del cemento asfáltico convencional con lo cual descartaremos este valor.

Con estos resultados se puede decir que los mejores porcentajes que se obtuvieron para la estabilidad Marshall son los de 1%, 2% ya que son los valores más altos que se obtuvieron con incrementos considerables al cemento asfáltico convencional como ser:

- Con 1% de Biomodificador se incrementó un 42% con respecto a la estabilidad del cemento asfáltico convencional.
- Con 2% de Biomodificador se incrementó un 46% con respecto a la estabilidad del cemento asfáltico convencional.

Figura 4.14: comparación de los resultados del FLUJO



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados de FLUJO del Marshall que por norma esta entre (8 y14), observamos en la gráfica que:

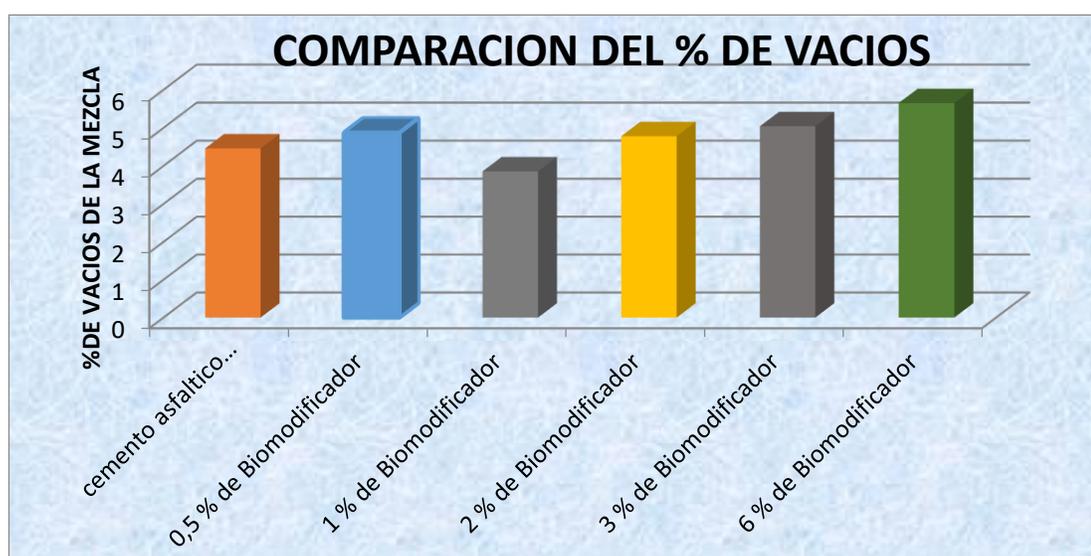
- Porcentajes 3%, 6% de Biomodificador tienden a aumentar sus valores y en ambos casos se salen del rango del flujo que por norma es (4 -14).
- En los casos de los porcentaje de 0.5%, 1%, 2% de Biomodificador, sus

valores están dentro del rango que se tiene por norma del flujo, pero en el caso del 0.5% de Biomodificador es el valor que está por debajo del flujo del cemento asfáltico convencional.

Con estos resultados se puede decir que el mejor porcentaje que se obtuvo para el flujo Marshall es el de 0.5% de Biomodificador ya que su valor baja con respecto al cemento asfáltico convencional.

Pero tampoco se pueden descartar los resultados de flujo que se obtuvieron de los porcentajes de 1%, 2% de Biomodificador ya que estos tuvieron mayores resultados en la ESTABILIDAD Marshall.

Figura 4.15: comparación de los resultados del % DE VACIOS



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados del % DE VACIOS del Marshall que por norma esta entre (3 y 5 %), observamos en la gráfica que:

- Los porcentajes 0.5%, 2%, 3% y 6% de Biomodificador tienden a aumentar sus

valores por arriba del (% de vacíos) del cemento asfáltico convencional.

- Pero en el caso del 1% de Biomodificador es el valor que está por debajo del (% de vacíos) del cemento asfáltico convencional.

Con estos resultados se puede decir que el mejor porcentaje que se obtuvo para el (% de vacíos) Marshall es el de 1% de Biomodificador ya que su valor es bajo con respecto al cemento asfáltico convencional.

4.4.2. Ventajas y Desventajas en su Uso de mezclas modificadas

Ventajas:

- Disminuye la susceptibilidad térmica.
- Se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio Reduciendo el ahuellamiento.
- Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- Mejora la trabajabilidad y la compactación: por la acción lubricante del Biomodificador o de los aditivos incorporados para el mezclado.
- Mejor impermeabilización: en los sellados bituminosos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
- Mayor resistencia al envejecimiento: mantiene las propiedades del ligante,

pues los sitios más activos del asfalto son ocupados por Biomodificador.

- Mejora la vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación.
- Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
- Reducción del costo de mantenimiento, retraso de usuarios y niveles de accidentes en las carreteras.
- Disminuye el nivel de ruidos: sobre todo en mezclas abiertas.
- Aumenta el módulo de la mezcla.
- Mayor resistencia a la flexión en la cara inferior de las capas de mezclas asfálticas.
- Permite un mejor sellado de las fisuras.
- Buenas condiciones de almacenamiento a temperaturas moderadas.

Desventajas:

- Alto costo.
- Dificultades del mezclado.
- Deben extremarse los cuidados en el momento de la elaboración de la mezcla.
- Los agregados no deben estar húmedos ni sucios.

- La temperatura mínima de distribución es de 160°C por su rápido endurecimiento.

La mayor desventaja de estos es el alto costo inicial del asfalto modificado, pero si se realiza un análisis del costo a largo plazo se puede concluir que el elevado costo inicial queda compensado por la reducción del mantenimiento futuro y el alargamiento de la vida de servicio del pavimento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el presente proyecto de investigación se han cumplido los objetivos planteados debido a que se ha demostrado que presencia de porcentajes de Biomodificador (bagazo de caña de azúcar) e incide en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica y por lo tanto su estudio es importante para la duración de la misma.
- Para la realización de los ensayos con porcentajes de Biomodificadores en el cemento asfáltico se tomó en cuenta que el Biomodificador sea en polvo y seco y se utilizó un tamaño de partícula que sea retenido en el tamiz N° 200.
- En el caso del biomodificador (bagazo de caña de azúcar), la disminución de la susceptibilidad térmica se refleja en las propiedades físico-mecánicas específicamente en el punto de ablandamiento (aumenta) y la penetración (disminuye).
- El uso del Biomodificador (bagazo de caña de azúcar), significa un aumento en la viscosidad, de esta forma la mezcla elástica es más resistente y el riesgo de fluir a temperaturas altas, disminuye.
- Cuando se utiliza el Biomodificador (bagazo de caña de azúcar), el punto de ablandamiento aumenta, garantizando que el asfalto tendrá un buen desempeño trabajando a altas temperaturas.
- Al utilizar porcentajes de biomodificador (bagazo de caña de azúcar) en el

cemento asfáltico 85/100 este cambia sus parámetros obteniendo así un cemento asfáltico Biomodificado **60/85**.

- Cemento asfáltico Biomodificado 60/85 es un cemento asfáltico modificado con bagazo de caña de azúcar en polvo y otro aditivo, que bajo condiciones especiales de proceso, presentan características de desarrollo tales como: aumento del punto de ablandamiento. Presentan desarrollo y durabilidad superior en servicios de pavimentación, aumenta las fuerzas de adhesión y cohesión de par agregado/ligante, reduciendo los efectos del tráfico y del clima sobre el revestimiento asfáltico.
- Se elaboraron briquetas de mezcla asfáltica convencional, que se sometieron a ensayos Marshall para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, y se realizó el mismo procedimiento con briquetas agregando porcentajes (0.5, 1, 2, 3, 6) de Biomodificador al cemento asfáltico.
- Las mezclas elaboradas con altas temperaturas presentaron un recubrimiento totalmente adecuado y no se presentó problema alguno, en el mezclado ni en la compactación.
- De acuerdo a los resultados presentados en la presente investigación, se puede observar que los porcentajes (0.5, 1, 2, 3, 6) de Biomodificador de (bagazo de caña de azúcar), presentan valores altos de estabilidad en comparación de la estabilidad del cemento asfáltico convencional.
- De acuerdo a los resultados presentados en la presente investigación, se puede observar que los porcentajes (1, 2, 3, 6) de Biomodificador de (bagazo de caña de azúcar), aumentaron sus valores de Flujo en comparación del flujo del cemento asfáltico convencional. En cambio el 0.5 % de Biomodificador de (bagazo de caña de azúcar) el flujo baja en consideración con el flujo del

cemento asfáltico convencional.

- De acuerdo a los resultados presentados en la presente investigación, se puede observar que los porcentajes (0.5, 2, 3, 6) de Biomodificador de (bagazo de caña de azúcar), aumentaron sus valores de (% de vacíos) en comparación de (% de vacíos) del cemento asfáltico convencional. pero en el caso del 1% de Biomodificador (bagazo de caña de azúcar) es el valor que está por debajo del (% de vacíos) del cemento asfáltico convencional pero se encuentra dentro de su rango (3-5).
- Con estos resultados se puede decir que el mejor porcentaje que se obtuvo en la Resistencia Marshall es el de 1% de Biomodificador (bagazo de caña de azúcar), ya que su valor aumenta en la estabilidad con referencia a la estabilidad del cemento asfáltico convencional, el flujo aumenta en consideración del flujo del cemento asfáltico convencional pero está dentro del rango que da la norma (4 – 14) (0.01 pulg), y el (% de vacíos) está por debajo al (% de vacíos) del cemento asfáltico convencional pero está dentro de su rango que es de (3 – 5) como se ve en la siguiente tabla :

MARSHALL	1 % de Biomodificador (bagazo de caña de azúcar)	cemento asfáltico convencional
ESTABILIDAD	2355,53	1653,16
FLUJO	7,53	8,74
% DE VACIOS	4,46	3,85

Fuente: Elaboración Propia

- Al analizar los resultados obtenidos de estabilidad fluencia y porcentaje de vacíos queda demostrado que las Mezclas asfálticas elaboradas con porcentajes de Biomodificadores posee un mejor comportamiento que las Mezclas asfálticas convencionales, tal como se esperaba ya que la finalidad de modificar

los asfaltos es mejorar sus propiedades.

- Con la modificación de las mezclas asfálticas con porcentajes de Biomodificadores, es contar con ligantes mas viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes, pues los asfaltos modificados presentan una mayor recuperación de su forma, por lo tanto menor deformación permanente de las mezclas que componen las capas de rodamiento.
- Las mezclas asfálticas modificadas, tienen una mayor capacidad de mantener su forma bajo las presiones a los cuales son sometidos.
- Observando las pruebas de laboratorio realizadas en las mezclas asfálticas tanto convencional como Biomodificadas, se puede decir que el asfalto modificado con porcentaje de Biomodificador debido a su alta estabilidad puede ser sometido a una carga máxima mayor que el asfalto convencional.
- El uso de las mezclas Biomodificadas no altera los procedimientos usados normalmente en los trabajos de pavimentación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Con estos resultados se recomienda que al ser una mezcla modificada con porcentajes de Biomodificador se trata de una mezcla densa con lo cual se puede decir que la utilización de este tipo de mezcla por su baja penetración su baja ductilidad y su alta viscosidad son de menor ahuellamiento y son mezclas más duras con parámetros 60/85 y pueden ser usadas para para calles o avenidas con alta o baja carga en el eje pero tomando en cuenta que estas mezclas serán utilizadas en zonas cálidas.

PAVIMENTACION	CLIMA			
	cálido arido	cálido humedo	moderado	frío
Aeropuertos:				
pista de despegue	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70
caminos auxiliares	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70
aparcamientos	60 - 70	60 - 70	60 - 30	85 - 100
Carreteras:				
Trafico pesado y muy pesado	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100
trafico medio a ligero	85 - 100	85 - 100	85 - 100	120 - 150
Caminos particulares:				
industriales	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100
Estaciones de servicio	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100
Residenciales	60 - 70	60 - 70	85 - 100	85 - 100
Aparcamientos:				
industriales	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70
comerciales	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100
Zonas de recreo:				
pistas de tenis	85 - 100	85 - 100	85 - 100	85 - 100
terrenos de juego	85 - 100	85 - 100	85 - 100	85 - 100

Fuente: instituto del asfalto

- Se recomienda tener cuidado con el manejo del ácido sulfúrico para la obtención del Biomodificador.
- Es recomendable antes de la selección de del tamaño de partícula de bagazo de caña de azúcar que se utilizara es recomendable realizar un cuarteo para la mejor selección de muestra.

- 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.
- En caso de una quemadura con asfalto, aplicar agua o hielo inmediatamente, no remover el asfalto de la piel y tampoco cubrir con una venda, recurrir inmediatamente a un médico.
- Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos.
- Se recomienda tener en cuenta que al utilizar el martillo Marshall manualmente tener cuidado con los golpes ya que al no hacerse a la misma intensidad pueden variar en los resultados.
- Es importante y se recomienda dar mantenimiento al equipo Marshall para compactación y la prensa Marshall, para obtener valores correctos.
- Se recomienda Estudiar con más profundidad estos tipos de modificación ya que son modificación con materiales agroindustriales que provienen de las fábricas agrícolas. .