

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 INTRODUCCIÓN

Es importante analizar la influencia de factores climáticos, como ser, la temperatura en el comportamiento de las mezclas asfálticas sean estas convencionales o modificadas con polímeros, en todo su proceso de producción hasta el momento de colocado en plataforma, de esta manera se conocería los cambios en las propiedades físico-resistentes de la mezcla. Ante esta necesidad de contar con productos que tengan un mejor comportamiento bajo la acción del tránsito vehicular y situaciones climáticas adversas se han desarrollado procesos, fórmulas y técnicas que permiten la fabricación de asfaltos de mayor durabilidad, mediante la adición de polímeros.

La modificación de los asfaltos es una técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo en la pavimentación de las vías, esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar las características reológicas y mecánicas.

La utilización de polímeros en la preparación de mezclas asfálticas se realiza desde hace más de medio siglo en los países con mayor avance tecnológico, desde entonces se ha mostrado el interés en conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, a través de pruebas de laboratorio.

La historia de la modificación de asfalto no es tan reciente como se podría pensar, en 1843 fueron concedidas patentes para modificar asfalto con polímeros naturales y sintéticos. Con el pasar de los años el uso de polímeros aumentó, especialmente después de la introducción y desarrollo del Programa Estratégico de Investigación de Autopistas (Strategic Highway Research Program SHRP).

En nuestro país se realizan pavimentos utilizando mezclas asfálticas convencionales como también modificadas con polímero en los diferentes proyectos viales específicamente dentro de nuestro departamento.

Con el presente trabajo de investigación se pretende analizar el efecto de la temperatura en mezclas asfálticas convencionales como modificadas con polímero y comparar su comportamiento durante el proceso de mezclado, transporte y colocado de la mezcla.

Los beneficiarios con este trabajo de investigación es que se profundiza el tema de asfaltos utilizados en nuestro medio y se evalúa el comportamiento en el proceso en condiciones locales tanto para mezclas con asfaltos convencionales como modificados con polímeros, será un aporte académico en el campo de la ingeniería vial de interés de estudiantes, docentes y profesionales que tengan relación con el área vial.

1.2 JUSTIFICACION

Está plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adherencia en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen de tránsito, la magnitud de las cargas y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes, por ejemplo, con los asfaltos convencionales no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado, especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura.

Es necesario conocer los parámetros que caracterizan a la mezcla asfáltica y definir sus límites de fallo, tanto por fatiga, como por fisuración térmica o deformación plástica para conocer el deterioro que se produce en una estructura de pavimento cuando está sometido al paso de cargas y a los agentes climáticos

Por tanto es importante saber que ensayo debe utilizarse para caracterizar la mezcla y que análisis se debe realizar a partir de los datos obtenidos.

Son tantas variables que intervienen y que hay que controlar, tanto en el proceso de diseño de mezclas como en el proceso de construcción de una carpeta asfáltica que es obligación de los investigadores proporcionar herramientas de fácil manejo para el ingeniero y el constructor, que permitan verificar sobre la marcha, la correcta ejecución de los trabajos de fabricación de mezclas asfálticas y sobre todo de construcción de

pavimentos, que garantice en todo momento el cumplimiento de las especificaciones bolivianas vigentes.

Es así que en este trabajo trataremos de demostrar la influencia que tiene la temperatura de compactación mediante una experimentación práctica en laboratorio que arroje como resultados las características de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica como la estabilidad y la fluencia, y así permitan darle una herramienta al ingeniero para controlar la puesta en obra de la mezcla asfáltica.

1.3 DISEÑO TEÓRICO

1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La ejecución de pavimentos flexibles sobre todo en la elaboración, transporte y colocación de las mezclas asfálticas tanto con la utilización de asfalto convencional como con asfalto modificado tiene una dependencia muy influyente de la temperatura para su comportamiento final.

No siempre coinciden en los proyectos las temperaturas especificadas con las ejecutadas durante las etapas del proceso, muchas veces situaciones no planificadas hacen que las temperaturas sean más altas o más bajas del rango especificado, los ejecutores tratan de tener un mayor control de la temperatura sin embargo algunas oportunidades pueden ser sobre todo en las etapas de transporte y colocado que las temperaturas no sean las más óptimas, esa situación debe estudiarse para saber a cierta base con pruebas de laboratorio cuan es la incidencia real de la temperatura en cada etapa del proceso.

Además de ver si la utilización de asfalto convencional o modificado también es un factor de incidencia. La temperatura de las mezclas asfálticas, ya sean estas con

cemento asfáltico modificado o cemento convencional varía significativamente desde su producción en la planta hasta la conformación de la estructura de pavimento y estas diferencias pueden llegar a generar cambios en las propiedades mecánicas y dinámicas.

1.3.1.2 PROBLEMA

¿Cuál es la incidencia de la temperatura en las propiedades físico-resistentes de mezcla asfáltica durante el proceso de mezclado, transporte y colocado si se utiliza asfalto modificado con polímero y asfalto convencional?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los efectos de la variación de temperatura de compactación en una mezcla asfáltica modificada con polímero y una mezcla asfáltica convencional, durante su proceso de fabricación y colocación en plataforma, de tal manera se pueda conocer el grado de afectación en la estabilidad y fluencia para su valoración cuantitativa y cualitativa.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analizar las características y propiedades de los cementos asfálticos modificados y el cemento asfáltico convencional y su importancia en el diseño de mezclas asfálticas.
- ✓ Con los agregados y el cemento asfáltico de los tramos de pavimentación en estudio, analizar el efecto de la temperatura en el proceso de salida de planta, transporte y colocado en plataforma.
- ✓ Realizar la caracterización de los agregados y el cemento asfáltico a utilizar en la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada.

- ✓ Realizar las pruebas Marshall con briquetas preparadas a diferentes temperaturas provenientes de diferentes etapas en el proceso mezclado, transporte y colocado en plataforma además en condiciones extremas de pérdida de temperatura en el proceso de colocado.

- ✓ Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados que se obtengan de la investigación sobre la incidencia de la temperatura en mezclas asfálticas con asfalto modificado con polímero y mezclas asfálticas con cemento asfáltico convencional.

1.5 HIPÓTESIS

Si la mezcla asfáltica cambia de temperatura durante su proceso de manipulación, es decir, mezclado, transporte, colocado en plataforma entonces realizando ensayos Marshall se podrá evaluar sus propiedades y su incidencia en base a mezclas elaboradas con cemento asfalto modificado con polímero y mezclas con cemento asfáltico convencional.

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE

1.6.1 INDEPENDIENTE

Variación de temperaturas en las mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con polímero y mezclas asfálticas con cemento asfáltico convencional en diferentes etapas del proceso como ser mezclado, transporte y colocado.

1.6.2 DEPENDIENTE

Propiedad de resistencia (ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL) de las mezclas asfálticas a diferentes temperaturas durante el proceso de mezclado, transporte y colocado.

1.6.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

INDEPENDIENTE

Tabla 1.1 Operacionalización de variable independiente

		Operacionalización		
Variable Nominal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar
Variación de temperaturas en las mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con polímero.	Se realizarán ensayos de resistencia Marshall en diferentes etapas de la mezcla y a diferentes temperaturas	Mezcla Asfáltica Modificada	Cemento asfáltico modificado	Tipo de cemento asfáltico
				Dosificación constante
			Agregados	Tipo de agregados
				Dosificación constante
		Temperaturas	A la salida de planta	Ensayo Marshall
			En el transporte	Ensayo Marshall
			En el colocado	Ensayo Marshall
			Máximos y Mínimos	Ensayo Marshall

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2 Operacionalización de variable independiente

Operacionalización				
Variable Nominal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar
Variación de temperaturas en las mezclas asfálticas con cemento asfáltico convencional	Se realizarán ensayos de resistencia Marshall en diferentes etapas de la mezcla y a diferentes temperaturas	Mezcla Asfáltica Convencional	Cemento asfáltico convencional	Tipo de cemento asfáltico
				Dosificación constante
			Agregados	Tipo de agregados
				Dosificación constante
		Temperaturas	A la salida de planta	Ensayo Marshall
			En el transporte	Ensayo Marshall
			En el colocado	Ensayo Marshall
			Máximos y Mínimos	Ensayo Marshall

(Fuente Elaboración Propia)

DEPENDIENTE**Tabla 1.3 Operacionalización de variable dependiente**

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización			
		Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar	
Propiedad de resistencia de la mezcla asfáltica a diferentes temperaturas	Se analizara la resistencia del asfalto mediante el Método Marshall	Ensayos de caracterización	Cemento Asfáltico Modificado	Penetración	Método para determinar el índice de penetración ASTM D5
				Punto de ablandamiento	Método para determinar el Punto de Ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. (ASTM D36 AASHTO T53-96)
				Peso Especifico	Metodo para determinar la gravedad especifica ASSHTO T228
				Punto de inflamación y combustión	Método para determinar el punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland
				Ductilidad	Método para determinar la ductilidad (ASTM D113 AASHTO T51-00)
				Viscosidad	Método para determinar la viscosidad (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)
		Agregados	Granulometría	Método para tamizar y determinar la granulometría ASTM E 40	
			Equivalente de arena	Método para determinar el equivalente de arena	
			Resistencia al desgaste por abrasión	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E131 AASHTO T96-99)	
			Peso Especifico y absorción del agregado	Determinación del peso específico de los suelos AASHTO T100	
Ensayo de Resistencia	Mezcla Asfáltica Convencional	Resistencia a la deformación plástica	Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall		

Fuente Elaboración propia

Tabla 1.4 Operacionalización de variable dependiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización			
		Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar	
Propiedad de resistencia de la mezcla asfáltica a diferentes temperaturas	Se analizara la resistencia del asfalto mediante el Método Marshall	Ensayos de caracterización	Cemento Asfáltico Convencional	Penetración	Método para determinar el índice de penetración ASTM D5
				Punto de ablandamiento	Método para determinar el Punto de Ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. (ASTM D36 AASHTO T53-96)
				Peso Especifico	Método para determinar la gravedad específica AASHTO T228
				Punto de inflamación y combustión	Método para determinar el punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland
				Ductilidad	Método para determinar la ductilidad (ASTM D113 AASHTO T51-00)
				Viscosidad	Método para determinar la viscosidad (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)
		Agregados	Granulometría	Método para tamizar y determinar la granulometría ASTM E40	
			Equivalente de arena	Método para determinar el equivalente de arena	
			Resistencia al desgaste por abrasión	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E131 AASHTO T96-99)	
			Peso Especifico y absorción del agregado	Determinación del peso específico de los suelos AASHTO T100	
Ensayo de Resistencia	Mezcla Asfáltica Convencional	Resistencia a la deformación plástica	Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall		

Fuente: Elaboración propia

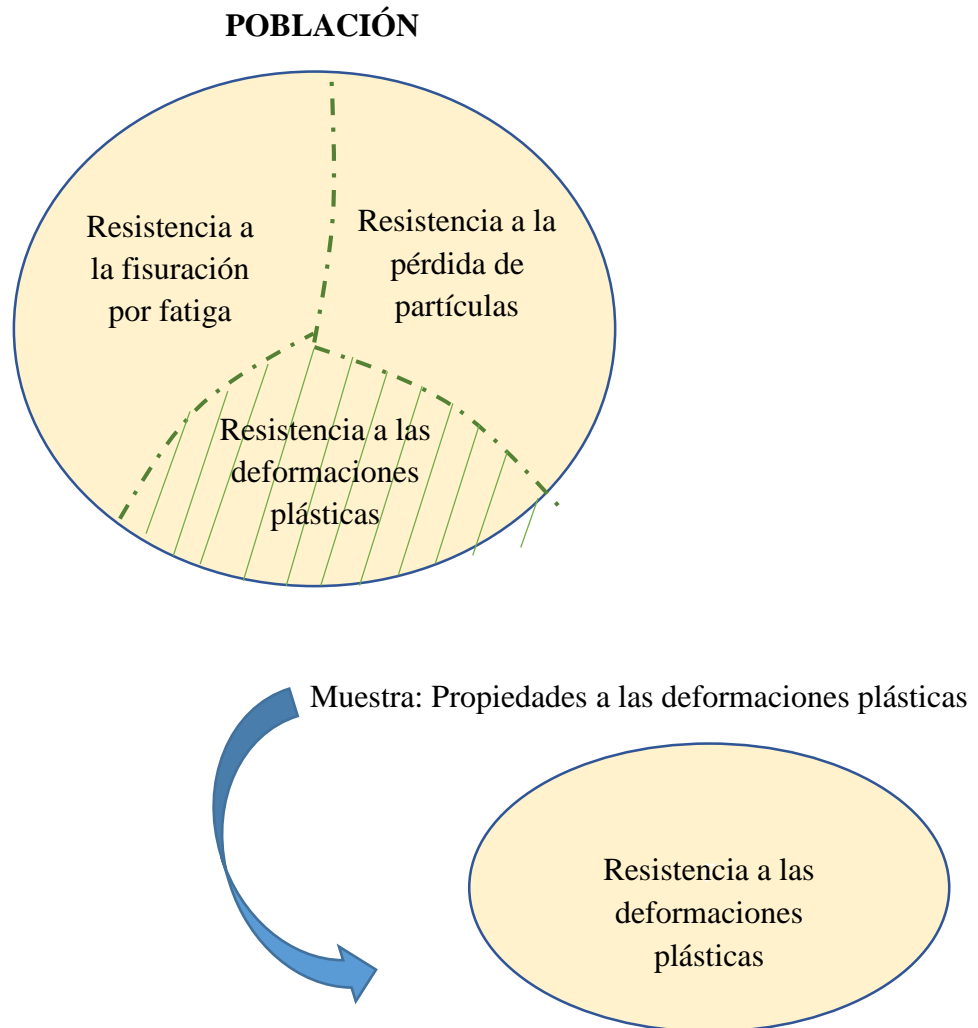
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1 COMPONENTES

1.7.1.1 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL: Comportamiento de las propiedades de las mezclas asfálticas

1.7.1.2 POBLACIÓN: Propiedades mecánicas de mezclas asfálticas

Figura 1.1 Población: Propiedades mecánicas de mezclas asfálticas



Fuente: Elaboración propia

PROPIEDADES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las propiedades de una mezcla asfáltica como capa de rodadura deben proporcionar seguridad, confortabilidad y durabilidad para contar con las exigencias deseables para una superficie de rodadura

- Propiedades de trabajabilidad

Las propiedades de trabajabilidad de una mezcla son importantes ya que son las que le permiten manejabilidad y son las siguientes:

- Compactabilidad
- Resistencia a la segregación de agregado grueso/fino
- Resistencia a la segregación de agregado/ligante

- Propiedades de Durabilidad

Estas se refieren a las propiedades que están en relación con el clima y estas son:

- Resistencia al lavado por el agua
- Resistencia a la fisuración térmica
- Resistencia a la fisuración por reflexión
- Resistencia al envejecimiento

- Propiedades Mecánicas

Estas propiedades están en relación con el tráfico y son las siguientes:

- Resistencia a la fisuración por fatiga
- Resistencia a las deformaciones plásticas
- Resistencia a la pérdida de partículas

1.7.1.3 MUESTRA:

La muestra de la investigación es extraída de la población y esta es la Resistencia a las deformaciones plásticas que comprende siguiente:

- + Estabilidad
- + Fluencia

1.7.1.4 MUESTREO:

La muestra se extraerá de los siguientes tramos de pavimentación:

- + Mezcla asfáltica convencional del tramo de pavimentación:
Iscayachi – Copacabana
- + Mezcla asfáltica modificada con polímero del tramo de
pavimentación: San Alberto – Caraparí

Se realizarán mediciones de temperatura de las siguientes etapas de ambas mezclas asfálticas, en dos tramos diferentes de pavimentación:

- + A la salida de la planta
- + De los volquetes durante el transporte
- + De plataforma al tiempo de ser colocado
- + Con valores máximos y mínimos en laboratorio

El número de muestras se distribuirá de la siguiente manera:

Para la mezcla asfáltica convencional:

Planta	→ 5 Marshall	→ 15 briquetas
Transporte	→ 5 Marshall	→ 15 briquetas
Colocado	→ 5 Marshall	→ 15 briquetas
Máximos y mínimos	→ 10 Marshall	→ 30 briquetas
	<u>25 Marshall</u>	<u>75 briquetas</u>

De igual manera el número de muestras de mezcla asfáltica modificada se dispondrá de la siguiente manera:

Planta	→ 5 Marshall	→ 15 briquetas
Transporte	→ 5 Marshall	→ 15 briquetas
Colocado	→ 5 Marshall	→ 15 briquetas
Máximos y mínimos	→ 10 Marshall	→ 30 briquetas
	<u>25 Marshall</u>	<u>75 briquetas</u>

1.8 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

Para realizar el presente trabajo de investigación se utilizará el Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall, que es una maquina básica de compresión Marshall y ensayo de estabilidad del asfalto. Mide la estabilidad y el flujo de las mezclas de pavimento bituminoso.

Se realizará a diferentes temperaturas de compactación para ambas mezclas asfálticas a la temperatura normalizada del ensayo Marshall, que es 60°C.

1.9 INSTRUMENTOS PARA REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

AGREGADOS: Es imprescindible caracterizar los materiales con los que se realizara el trabajo de investigación para determinar si estos se encuentran en los rangos establecidos para cada ensayo a realizar.

Los ensayos que se realizarán para caracterizar los agregados serán:

- Granulometría
- Peso específico
- Resistencia al desgaste por abrasión
- Equivalente de arena

Ensayo de Granulometría:

Se realizará el ensayo de granulometría, para ello se necesitará una serie de tamices: 1", ¾", ½", 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200

Figura 1.2 Serie de Tamices



Fuente Elaboración propia

Ensayo de Peso Específico y absorción del agregado:

Para el ensayo de peso específico se necesitara una canastilla, balanza de precisión y también se utilizara la guía de laboratorio para su desarrollo.

Figura 1.3 Instrumentos para Peso Específico



Fuente Elaboración propia

Ensayo Resistencia al desgaste por abrasión

Para la realización de este ensayo es necesario un tambor y esferas de hierro.

Figura 1.4 Tambor para el ensayo al desgaste de los ángeles



Fuente Elaboración propia

Ensayo Equivalente de arena

Figura 1.5 Instrumentos para equivalente de arena



Fuente Elaboración propia

Cemento asfáltico convencional:

Los instrumentos para caracterizar el cemento asfáltico son los siguientes de acuerdo al tipo de ensayo:

Figura 1.6 Penetrómetro para determinar la penetración



Fuente Elaboración propia

Figura 1.7 Copa abierta de Cleveland para determinar Punto de inflamación



Fuente Elaboración propia

Figura 1.8 Aparato de anillo y bola para determinar Punto de Ablandamiento



Fuente Elaboración propia

Figura 1.9 Ductilimetro para determinar Ductilidad



Fuente Elaboración propia

Figura 1.10 Instrumento para determinar Peso Específico



Fuente Elaboración propia

Cemento asfáltico modificado:

Los instrumentos para la caracterización del cemento asfáltico modificado son los mismos que para el cemento asfáltico convencional.

1.10 INSTRUMENTOS PARA REALIZAR EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Se utilizara el aparato Marshall para realizar el Método de resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas, lo que corresponde los siguientes equipos:

- Moldes de compactación
- Extractor
- Martillo de compactación
- Pedestal de compactación
- Sujetador de molde
- Mordaza
- Maquina Marshall
- Horno
- Baño de agua

Figura 1.11 Prensa Marshall



Fuente Elaboración propia

Figura 1.12 Moldes y martillo para Marshall



Fuente Elaboración propia

Además también se utilizara para medir las temperaturas de las mezclas:

- Termómetro de vidrio
- Termómetro láser
- Termómetro para mezclas calientes

Figura 1.13 Termómetro láser



Fuente Elaboración propia

Figura 1.14 Termómetro de vidrio



Fuente Elaboración propia

Figura 1.15 Termómetro de caratula con vástago



Fuente Elaboración propia

1.11 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El presente trabajo es un estudio de investigación y experimental, se tiene un tamaño de muestras aproximado de 75 briquetas por mezcla, las cuales serán sometidas al ensayo de resistencia Marshall a diferentes temperaturas durante el proceso de mezclado, transporte y colocado. Así mismo se realizaran Marshall con valores máximos y mínimos de temperatura.

Es importante destacar que la compactación de las briquetas se realizará a diferentes temperaturas y se realizará el ensayo Marshall a la temperatura normalizada, entonces la prensa del aparato Marshall no sufrirá ningún riesgo.

El procedimiento se realizará por etapas para ambas mezclas asfálticas:

1. Etapa en planta:

Cuando la mezcla salga del tambor de mezclado y pasa por las cintas transportadoras se recogerá una muestra de esta y se introducirá inmediatamente en moldes para compactar con el martillo, así la mezcla no perderá temperatura.

Luego se llevara la muestra compactada a laboratorio para realizar el ensayo Marshall.

1. Etapa en transporte

De igual manera se extraerá muestra de mezcla asfáltica del volquete antes que esta sea llevada a la terminadora y se medirá la temperatura, se colocará la muestra en molde y se compactara con martillo, para luego realizar ensayos Marshall para conocer su resistencia.

2. Etapa de colocado en plataforma

En esta etapa se realizara el mismo el mismo procedimiento de las anteriores etapas mencionadas.

3. Con valores máximos y mínimos

Conociendo la temperatura con la que la mezcla sale de planta se realizarán briquetas con esta temperatura de compactación y se hará bajar la temperatura cada 10°C y se volverán a realizar briquetas.

ANÁLISIS ESTADISTICO

Según la ASTM para un trabajo de investigación se debe realizar el análisis estadístico con un tamaño mínimo de muestras de 30.

Se realizara una estadística descriptiva para obtener las siguientes medidas de tendencia central:

- Media aritmética

Es la medida más utilizada.

La media de “N” números es la suma de los mismos dividida entre N en el caso de una población, en una muestra se utilizará “n” para simbolizar el tamaño o cantidad de observaciones. Por otra parte la media poblacional se simboliza con μ y la media muestral con \bar{X}

Ec. 1.1 Media muestral

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Fuente: Estadística Descriptiva**- Mediana**

Punto medio de los valores después de ordenarlos de menor a mayor o de mayor a menor. Hay tantos valores por encima de la mediana como por debajo de ella en la ordenación de datos.

Ec. 1.2 Mediana

$$\text{Ubicación de la mediana} = \frac{X_{n+1}}{2}$$

Fuente: Estadística Descriptiva**- Moda**

La moda es aquel valor que más veces se repite en un conjunto de datos

La moda tiene una gran utilidad cuando se tiene datos cualitativos y variables categóricas.

Si existe una moda se llama: Unimodal

- **Desviación estándar**

Una de las medidas de mayor utilidad dentro del análisis estadístico es la desviación estándar, que es una medida que considera que tan lejos de la media están localizados cada uno de los valores observados y se la define como la raíz cuadrada positiva de la varianza.

La varianza es una medida previa a la desviación estándar y la diferencia con la desviación media es que toma las diferencia con sus respectivos signos.

Ec. 1.3 Varianza

$$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}$$

Fuente: Estadística Descriptiva

Ec. 1.4 Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Fuente: Estadística Descriptiva

- **Rango**

Es la diferencia entre los valores máximo y mínimo del conjunto de datos.

Ec. 1.5 Rango

$$Rango = d \mp \bar{X}$$

Fuente: Estadística Descriptiva

1.12 ALCANCE DE INVESTIGACIÓN

La investigación de este tema contempla el trabajo de campo que consiste en realizar mediciones de temperatura a muestras de asfalto modificado con polímero y mezclas convencionales extraídas de una obra de pavimentación, una para cada tipo de mezcla, en las distintas etapas del proceso por las que pasa la mezcla y realizar el ensayo Marshall.

Con los resultados de cada muestra a diferentes temperaturas de compactación se podrá observar el comportamiento que sufre la mezcla asfáltica modificada y una mezcla asfáltica convencional.

Se tendrá el siguiente alcance:

Se realizaran ensayos de caracterización para los tipos de agregado pétreo y los cementos asfálticos para conocer si estos cumplen con los rangos especificados para mezclas asfálticas.

La muestra será extraída de plantas asfálticas y de dos diferentes tramos de pavimentación, de este modo se trabajará con mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada.

Se realizarán mediciones de temperatura para obtener rangos de las etapas de: mezcla salida de planta, transportada al tramo de pavimentación y cuando es colocada en plataforma.

Con los rangos de temperaturas ya medidos se realizarán ensayos Marshall en laboratorios a diferentes temperaturas de compactación a briquetas elaboradas con mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS.

Del ensayo Marshall se obtendrán los resultados de Estabilidad y Fluencia Marshall y se evaluarán estos para analizar la incidencia de la temperatura de compactación en dos tipos de mezclas asfálticas.

CAPITULO II: GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE EL CEMENTO ASFÁLTICO, AGREGADOS, MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y ENSAYO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS

2.1 ASFALTO

2.1.1 DEFINICIÓN

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define el asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas y asfaltitas.

El asfalto es un constituyente del petróleo. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, y a veces pueden ser casi enteramente asfalto.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera es como el asfalto, parafina, gasolina, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad son el resultado de una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

Todo el asfalto comercializado en el medio con la finalidad de ser usado en la pavimentación de carreteras es producido en refinerías de petróleo modernas y se denomina asfalto de petróleo.

El asfalto de petróleo está compuesto casi enteramente por betún, mientras que en el alquitrán el contenido de betún es relativamente bajo. En vista de estas diferencias es necesario que los productos del alquitrán y los asfaltos de petróleo sean considerados y tratados como elementos completamente separados.

El asfalto de petróleo para uso en pavimentos es comúnmente llamado *asfalto de pavimentación o cemento asfáltico* para distinguirlo del cemento asfáltico hecho para otros usos, como ser para propósitos industriales o para techados.

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal (ambiente) es un material negro, pegajoso, semi-sólido y altamente viscoso. Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos, como ser oxígeno, nitrógeno y sulfuro. Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El asfalto para pavimentación es impermeable y no le afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es llamado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

Los pavimentos asfálticos son a veces, no con toda propiedad, llamados flexibles, quizás como consecuencia que el asfalto es un material viscoso y termoplástico.

El asfalto natural es durable y ha sido usado a lo largo de la historia, los sumerios estaban familiarizados con el asfalto y sus propiedades cementantes e impermeabilizantes antes del año 3800 antes de Cristo. Los babilonios (2500-538AC) usaron el asfalto para construir presas, embalses y caminos. El asfalto de petróleo moderno tiene las mismas características de durabilidad, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños. El asfalto natural no es uniforme y contiene cantidades variables de materias extrañas.

2.1.2 OBTENCION DEL ASFALTO EN REFINERIAS

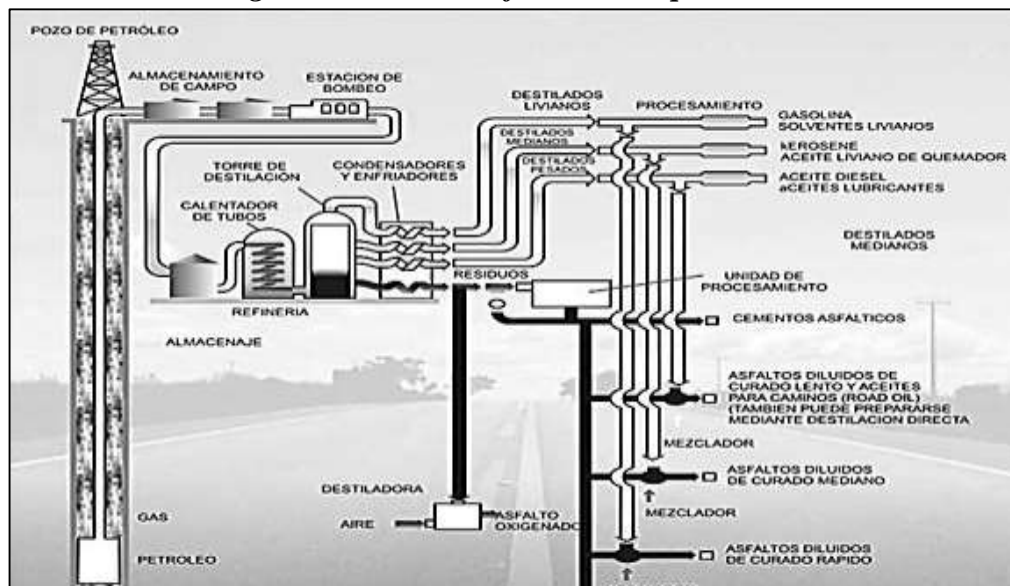
El diagrama del proceso para la extracción del asfalto de petróleo (figura 2.1) muestra la circulación del petróleo crudo a través de una refinería destacándose la parte del proceso relativa a la refinación y producción del cemento asfáltico.

Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas

(más volátiles) y se los separa para el posterior refinamiento en nafta, gasolina, querosene y otros productos derivados del petróleo.

El residuo de este proceso de destilación es la fracción pesada o petróleo crudo, comúnmente llamada crudo reducido. Puede ser usado como fuel oíl residual, o procesado en distintos productos, entre ellos, el asfalto. Para la separación de la fracción asfalto del crudo reducido se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener cemento asfáltico. Según el proceso de refinación utilizado, se obtienen cementos asfálticos de muy alta o baja consistencia. Estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada. Los asfaltos soplados se producen insuflando aire a altas temperaturas al asfalto de consistencia apropiada.

Fig. 2.1 Proceso de refinación del petróleo



Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

2.1.3 PROPIEDADES FISICAS DEL ASFALTO

El asfalto es un líquido viscoso constituido esencialmente por hidrocarburos o sus derivados, a continuación enlistamos algunas de sus características:

Para los estudios técnicos y la construcción se consideran deseables las siguientes propiedades o características del asfalto:

1. Consistencia:

Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla.

Si el cemento asfáltico se expone al aire en películas delgadas, y se somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo durante el mezclado con el agregado, el asfalto tiende a endurecerse, a aumentar de consistencia. El aumento de esta característica es limitado, por lo tanto, un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar mayor daño al cemento asfáltico por endurecimiento que por muchos años de servicio en el camino terminado.

Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o ensayos de penetración.

2. Durabilidad:

Es la capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.

Es 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.

3. Susceptibilidad Térmica:

Es el cambio que experimenta el asfalto en sus propiedades por efecto de 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.

4. Pureza:

El cemento asfáltico se compone, casi enteramente, de betunes, los cuales, por definición son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más de 99.5 % solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto casi betunes puros. Las impurezas, si las hay, son inertes.

Normalmente, el cemento asfáltico, cuando deja la refinería, está libre de agua o humedad, pero puede haber humedad en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, puede causar un asfalto espumoso cuando se calienta por encima de los 100°C.

5. Seguridad

Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación.

Si se somete el cemento asfáltico a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o una llama. La temperatura a la que esto ocurre es más elevada que la temperatura que normalmente es usada en las operaciones de pavimentación. Sin embargo, para fines de transporte y almacenamiento, se suele diluir el asfalto a temperaturas en las que adquiere la suficiente fluidez para bombearlo; este proceso puede generar vapores volátiles altamente riesgosos, por eso es necesario tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad. Por este motivo se hace indispensable conocer el punto de inflamación del asfalto.

2.1.4 ENSAYOS DE CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

2.1.4.1 ENSAYOS DE VISCOSIDAD

Las especificaciones de los cementos asfálticos clasificados según su viscosidad, se basan por lo común en los rangos de viscosidad a 60°C. También se especifica generalmente una viscosidad mínima a 135°C. El propósito es dar valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Se eligió la temperatura de 60°C porque se aproxima a la máxima temperatura superficial de las calzadas en servicio pavimentadas con mezclas asfálticas, y la de los 135°C, porque se aproxima a la temperatura de mezclado y distribución de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

Para el ensayo de viscosidad a 60°C se emplea un viscosímetro de tubo capilar. Los dos tipos más comunes en uso son: el viscosímetro de vacío del Asphalt Institute y el viscosímetro de Cannon - Manning. Se calibran con aceites normalizados. Para cada viscosímetro se obtiene un “factor de calibración”. Generalmente los viscosímetros vienen calibrados por el fabricante quien suministra estos factores.

El viscosímetro se monta en un baño de agua a temperatura constante, controlado termostáticamente. Se vierte asfalto precalentado en el tubo más grande hasta que alcanza el nivel de la línea de llenado. El viscosímetro se mantiene en el baño por cierto tiempo hasta que el sistema alcance la temperatura de equilibrio de 60°C.

Se aplica un vacío parcial en el tubo pequeño para inducir el flujo, porque el cemento asfáltico a esta temperatura es muy viscoso para fluir fácilmente a través de los tubos capilares del viscosímetro.

Luego que el baño, viscosímetro y el asfalto se han estabilizado en 60°C se aplica vacío y se mide con un cronometro el tiempo, en segundos, que tarda el cemento asfáltico en fluir entre dos marcas. Multiplicando este tiempo por el factor de calibración del viscosímetro se obtiene el valor de la viscosidad en poises, la unidad patrón para medir viscosidad absoluta.

El viscosímetro de vacío del Asphalt Institute tiene muchas marcas para medir el tiempo. Seleccionando el par apropiado, se puede usar para asfaltos con una amplia variación de consistencias.

Los cementos asfálticos para pavimentación son lo suficientemente fluidos a 135°C para fluir a lo largo de los tubos capilares bajo fuerzas de gravitacionales únicamente. Por lo tanto, se usa un tipo diferente de viscosímetro, ya que no se requiere el vacío. El método utilizado por su disponibilidad en el medio es el de Saybolt Furol, AASHTO (T 72) - ASTM (D 88).

Este método se refiere a procedimientos empíricos para determinar la viscosidad de Saybolt universal o Saybolt Furol de productos del petróleo a temperaturas especificadas.

La viscosidad Saybolt Furol es el tiempo en segundos, corregido durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.

La palabra Furol es una contracción de las palabras “Fuel and Road Oils” (aceites y combustibles para carreteras)

La viscosidad Saybolt Furol es aproximadamente 1/10 de la viscosidad Saybolt Universal, y es recomendada para la caracterización de productos del petróleo.

2.1.4.2 ENSAYOS DE PENETRACIÓN

La consistencia de un asfalto puede medirse con un método empírico, como el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados. Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico a una temperatura de referencia, 25°C, en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada de 100 gramos de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetra la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0.1 mm.

Ocasionalmente, el ensayo de penetración se realiza a distinta temperatura en cuyo caso puede variarse la carga de la aguja, el tiempo de penetración o ambos.

2.1.4.3 ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND

Cuando se calienta el asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre. Esta temperatura, está sin embargo, muy por debajo de la temperatura en la que el material entra en estado de combustión permanente. Se la

denomina punto de combustión y es muy raro que se use en especificaciones para asfalto.

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de “vaso abierto Cleveland” (COC) que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes vapores volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

2.1.4.4 ENSAYO DE DUCTILIDAD

Algunos ingenieros consideran que la ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Sin embargo, generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura. Es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

La ductilidad de un cemento asfáltico se mide con un ensayo tipo “extensión” para el que se moldea una probeta de cemento asfáltico en condiciones medias normalizadas. Se la lleva a temperatura de ensayo de la norma, generalmente a 25°C y se separa una parte de la probeta de la otra a cierta velocidad, normalmente 5 cm por minuto, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) a la cual se rompe dicho hilo.

2.1.4.5 ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO MEDIANTE EL APARATO DE ANILLO Y BOLA

Para obras de ingeniería se requiere que los materiales a utilizar cumplan ciertos requisitos de calidad y tengan ciertas propiedades químicas y mecánicas; es por esto

que se debe determinar las condiciones a las cuales los materiales pierden o cambian estas características y para el asfalto que es un material bituminoso es preciso determinar a qué temperatura comienza a fluir.

El punto de ablandamiento es útil en la clasificación de betunes, como un elemento que establece la uniformidad de embarques o fuentes de suministro, y es indicativo de la tendencia del material a fluir en temperaturas elevadas encontradas en servicio.

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.

2.1.4.6 PESO ESPECÍFICO

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.

Es útil para hacer las correcciones de volumen cuando este se mide a temperaturas elevadas. Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas.

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.

2.2 AGREGADOS EN MEZCLAS ASFALTICAS

Los agregados en mezclas asfálticas, tanto en su calidad y gradación constituyen un valor importante en las propiedades de estas. Se debe elegir cuidadosamente el tipo de agregado, ya que sus propiedades varían según el lugar de producción.

Es muy importante el manejo de los agregados, ya que cuando el acopio de los materiales es malo puede llegar a producirse segregación, separación de materiales, entonces se debe tomar precauciones para evitar este comportamiento.

La calidad y gradación del agregado que se obtienen en ensayos de laboratorio nos indican los niveles recomendables de su uso. Así, la selección apropiada del agregado depende esencialmente del propósito de su aplicación.

2.2.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

El agregado, también conocido como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte (incapaz de reacción), usado en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. Los áridos constituyen un porcentaje, en general superior al noventa por ciento la mayoría de los casos. Obviamente, la naturaleza y calidad del agregado son importantes. En la capa superior de un pavimento asfáltico, donde las cargas de las ruedas son concentradas y las tensiones elevadas, se requiere agregados de alta calidad para lograr una mezcla fuerte y de buen comportamiento. Por lo tanto, los agregados minerales son los principales responsables de la capacidad de carga del pavimento. Además, el agregado influye notablemente en el comportamiento del pavimento, especialmente si tomamos en cuenta que en una mezcla con agregado densamente graduado éste conforma entre el 90 y 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación.

La calidad final de los áridos y por tanto su aptitud dependen de la naturaleza petrológica de los mismos, pero también en gran medida de su proceso de preparación. Aunque en fase de proyecto se suelen evaluar las posibles procedencias de áridos, la procedencia definitiva se establece en la fase de construcción.

En los áridos gruesos por su principio de funcionamiento (rozamiento interno), las mezclas asfálticas requieren de áridos resistentes y estables, es decir: bajos valores de

desgaste de los Ángeles, alta resistencia al pulimento, buena forma (limitación en lajas y agujas) y un alto porcentaje de caras fracturadas.

En los áridos finos la calidad de la fracción fina es muy importante, debido a que por su determinante contenido en la mezcla, sus características son muy críticas en la cohesión del conjunto.

Es importante considerar que entre los criterios que definen el uso de un agregado sobre otro está la disponibilidad y el costo; más aún, es necesario considerar otros criterios esenciales para la elaboración de una buena mezcla, como:

- 1 Graduación y tamaño máximo de la partícula
- 2 Limpieza
- 3 Dureza
- 4 Forma de la partícula
- 5 Textura de la superficie
- 6 Capacidad de absorción
- 7 Afinidad con el asfalto
- 8 Peso específico

La importancia técnica y económica de los áridos en la construcción de carreteras es de tal magnitud que el resultado final de la obra estará fuertemente condicionada por la selección de los áridos. En todo proyecto para la construcción de una carretera los volúmenes elevados de agregados condicionan económicamente su selección, limitándose necesariamente las distancias de transporte.

2.2.2 TIPOS DE AGREGADOS UTILIZADOS EN MEZCLAS ASFALICAS

2.2.2.1 AGREGADO GRUESO

Los agregados gruesos son partículas grandes, mayores aproximadamente a 2,5mm, (0,1plg). Normalmente son obtenidos de gravas naturales de lechos de ríos, rocas trituradas o de gravas trituradas y zarandeadas

2.2.2.2 PIEDRA TRITURADA

El material bruto para piedra triturada debe provenir de roca dura, como la arenisca, basalto, piedra caliza u otra piedra de calidad equivalente, o piedra de canto rodado con un tamaño de partícula de por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo requerido para el producto final.

El producto triturado puede ser tamizado para obtener el tamaño del agregado deseado. Algunas veces, por razones de economía, el material triturado es usado tal como se lo produce con un ligero tamizado o sin él. Este agregado se lo denomina agregado “triturado sin cribar”, en muchas oportunidades pueden utilizarse en la construcción de pavimentos asfálticos.

Las piedras trituradas deben tener uniformidad, limpieza, dureza y durabilidad suficiente y estar libres de una cantidad perjudicial de partículas planas o alargadas, sucias con barro o con materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

2.2.2.3 GRAVA TRITURADA

Grava triturada son piezas trituradas de canto rodado o grava para hacerlo más apropiado para su uso en mezclas asfálticas para pavimentación. La calidad puede ser mejorada por medio de la trituración, al cambiar la textura superficial de las partículas redondeadas en partículas angulosas con mejoras, además, en la distribución o rangos de tamaño de las partículas. Las proporciones de las partículas que tienen una o más caras fracturadas, tiene que ser mayor al 75% del peso total de partículas retenidas en un tamiz de 4,75 mm Sin otro procesamiento, este producto de grava triturada o chancada se llama “triturado sin cribar”.

2.2.2.4 AGREGADO FINO

Los agregados finos, presentan tamaños menores de aproximadamente 2,5mm (0.1plg). Son obtenidos de arena natural proveniente de las fracciones finas, obtenidas por

zarandeo en las operaciones de trituración de rocas o de gravas trituradas. Los áridos finos son aquellos que pasan el tamiz número 4.

➤ **Arena:**

La arena se clasifica en: arena natural, arena artificial, polvo de trituración y arena especial.

La arena natural se clasifica, por el lugar de excavación, en: arena de río, arena de cantera y arena de mar.

La arena artificial es producida por la trituración de roca o piedra de canto rodado. Las arenas son partículas rocosas que pasan el tamiz N°4 y quedan retenidas en el N° 200; y dentro de estas se encuentran las arenas finas, que son el material que pasa el tamiz N° 40 y quedan retenidas en el N°200, y el material que pasa el tamiz N°10 y retenidos en el tamiz N°40 se consideran arenas gruesas. Las partículas que pasan el tamiz N° 8 o menos, que se obtienen durante la producción de piedra triturada, se mencionan como “polvo de trituración”.

➤ **Filler:**

O relleno mineral es un producto mineral finamente dividido del que al menos el 65% pasa por el tamiz número 200. La piedra caliza pulverizada es el filler más frecuentemente empleado, aunque pueden utilizarse también otros polvos de piedras, cal apagada, cemento Portland y algunas sustancias minerales muy finas y otras de origen volcánico.

El filler aumenta en muchos casos la estabilidad y la calidad de una mezcla, ayudando en la aportación de agregado fino cuando se utilizan gradaciones cerradas o densas; en estos casos es frecuente el empleo principalmente polvo mineral (Porción de los áridos finos que pasa el tamiz número 200), y otros fillers.

El polvo mineral es usado principalmente como filler para la mezcla de asfalto en caliente. Es la parte de los áridos que pasa por el tamiz N°200. Puede consistir en partículas finas de los áridos finos o gruesos y/o filler mineral. El filler se produce triturando piedra caliza o roca volcánica y debe contener menos del 1% de agua y estar libre de aglomerados, no contendrá sustancias orgánicas ni partículas de arcilla. Cuando se almacena el filler mineral, se debe evitar cualquier contacto con agua o humedad, porque se vuelve inservible cuando está mojado.

La cal apagada, el cemento Portland y otros productos procesados industrialmente se pueden usar a veces como fillers minerales en mezclas asfálticas y para evitar el desarrollo de agrietamientos en el pavimento.

2.2.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

2.2.3.1 GRANULOMETRIA

Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y de agregado fino, empleando tamices de aberturas cuadradas, siendo también aplicable el empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares.

Hay dos métodos para determinar las proporciones relativas de los diversos tamaños de partículas en una muestra de áridos:

➤ **Análisis granulométrico por vía seca.**

Este método consiste en el tamizado por vía seca, el procedimiento es de agitar una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de tamices con aberturas cuadradas. Los tamices están unidos de forma que el de mayor abertura está en la parte superior y los de abertura más pequeña están situados debajo. Bajo el último tamiz se coloca una bandeja que recoge todo el material que pasa a través de él. La agitación se aplica normalmente con aparatos

automáticos, pero si no se disponen de estos se puede realizar manualmente sin pérdida de áridos.

Se determina el peso de material retenido en cada tamiz y se expresa en porcentaje del peso de la muestra original. Usualmente resulta conveniente anotar estos datos en un gráfico. En estos gráficos debe indicarse el porcentaje total, el peso que pasa por cada tamiz. Las curvas así obtenidas son instrumentos que dan rápidamente idea de las características granulométricas de los áridos.

➤ **Análisis granulométrico por vía húmeda.**

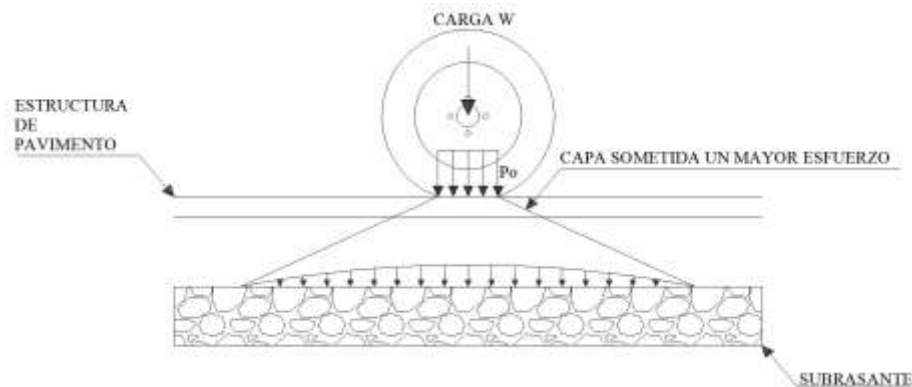
Este método de ensayo da un procedimiento para determinar por vía húmeda la distribución de tamaños de los áridos finos y gruesos. Este procedimiento es deseable frecuentemente cuando los áridos contienen polvo extremadamente fino o arcilla que pueden pegarse a las partículas más gruesas. En estos casos los resultados obtenidos del análisis granulométrico por vía seca son evidentemente erróneos.

2.2.3.2 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASION

El agregado pétreo está sujeto a una rotura adicional y a un desgaste por abrasión durante la elaboración, colocación y compactación de la mezcla asfáltica para pavimentación. El agregado sufre, además, la abrasión debido a las cargas del tránsito. Deben tener por lo tanto, en cierto grado, capacidad de resistir la trituración degradación y desintegración.

El agregado de la superficie del pavimento o cerca de ella requiere una dureza mayor que el agregado de las capas inferiores donde las cargas resultan disipadas o no son tan concentradas como se puede observar en la figura 2.2

Figura 2.2 Distribución de esfuerzos



Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

El ensayo de abrasión o desgaste “Los Ángeles” mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral cuando el pavimento es sometido al tráfico vehicular. El porcentaje de desgaste medido por el ensayo de Los Ángeles no tiene en general ninguna relación con el pulimento de los áridos bajo el desgaste del tráfico.

El tambor de la máquina de desgaste, el cual es cargado con un peso determinado de partículas de agregado grueso con una graduación prefijada que se asemeja al material propuesto para el diseño en la mezcla asfáltica, así como un peso normalizado de esferas de acero que han de actuar como carga abrasiva. A continuación se hace dar al tambor 500 vueltas, después de lo cual se extrae el material y se determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz número 12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indica por un bajo porcentaje de pérdida por la abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos.

2.2.3.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO

- **Peso específico:**

Usualmente se determina el peso específico de los áridos por dos razones:

- Para determinar el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
- Para corregir las cantidades de áridos empleado en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente.

Los vacíos en la capa de pavimento asfáltico compactada, aparecen en la muestra como pequeñas cavidades de aire entre las partículas de agregado recubiertas por asfalto. La elección del peso específico de un agregado usado en los cálculos de una mezcla asfáltica podría tener un efecto sustancial sobre la cantidad calculada de vacíos en el pavimento compactado. El peso específico del agregado en la mezcla depende del grado en el que el mismo absorbe asfalto. Cuando se usa el peso específico aparente se asume que el asfalto será absorbido por todos los poros permeables al agua. Si se usa el peso específico bruto, se acepta que el asfalto no será absorbido por los poros permeables al agua. Excepto en algunos casos, ninguno de los dos es correcto. El concepto de peso específico efectivo se aproxima más al valor verdadero para la determinación de los vacíos de la mezcla asfáltica compactada. El peso específico bruto puede ser usado, sin embargo, si se considera una tolerancia por asfalto absorbido por el agregado.

Para una combinación de agregados, los porcentajes de componentes del agregado total deberán requerir un ajuste por la diferencia de pesos específicos de cada uno de ellos. Cuando esto es necesario, los pesos específicos brutos son los que usualmente se emplean en los cálculos.

El peso específico de un agregado es el cociente entre el peso de un volumen unitario de material y el peso de igual volumen de agua a una temperatura entre 20° y 25°C (68 y 77°F). Existen tres tipos aceptados de pesos específicos de los agregados, los que dependen de la definición de volumen de la partícula:

Hay tres tipos ampliamente usados de pesos específicos de los áridos:

- **Peso específico aparente (G).**

Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los poros impermeables del material (esto es, la materia sólida, incluyendo sus huecos o poros impermeables).

Considera al volumen del agregado como el volumen total excluyendo el volumen de poros o capilares que pueden llenarse de agua en 24 horas de embebimiento.

- **Peso específico masivo del agregado seco (real-efectivo) (Gb)**

Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada estando el material en condición de saturado a superficie seca. El volumen incluye los vacíos permeables e impermeables del material.

Considera el volumen total del agregado excluyendo al volumen de poros que absorbe el asfalto.

- **Peso específico aparente con agregado saturado (bruto) (Gbs)**

Es la relación entre el peso saturado a superficie seca de un volumen del material a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada. El volumen incluye los vacíos permeables e impermeables del material (incluyendo tanto los huecos permeables como los impermeables propios del material).

Considera el volumen total de las partículas del agregado, incluye los poros que pueden ser llenados con agua en 24 horas de embebimiento.

- **Absorción del Agregado:**

Es el volumen de los vacíos permeables del material expresado en por cientos del peso en el aire del mismo secado en estufa.

Como se ve por estas definiciones, la diferencia entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados, indica la proporción de huecos permeables al agua de los áridos. Como el volumen medido para determinar el peso específico aparente con áridos saturados incluye los huecos impermeables, mientras que el volumen para el peso específico aparente excluye los huecos, es evidente que el volumen correspondiente al peso específico aparente es más pequeño que el empleado para el peso específico aparente con áridos saturados, si los áridos tienen huecos permeables. Si no existen tales huecos, ambos volúmenes son iguales.

Como el peso específico es una relación peso-volumen, se deduce que el peso específico aparente es mayor que el peso específico aparente con áridos saturados en áridos que contienen huecos permeables, y que ambos valores son iguales para áridos que no contienen huecos de este tipo. De esta forma, en áridos que contienen huecos permeables, la elección de uno u otro tipo de peso específico puede tener un efecto apreciable sobre la proporción de huecos calculada en una mezcla asfáltica compactada.

El peso específico aparente de los áridos en una mezcla asfáltica depende de la proporción en que el asfalto penetre en los huecos permeables. Como el asfalto es más viscoso que el agua, usualmente penetrará en los huecos menos que el agua. Por ello ha empezado a usarse el término “peso específico efectivo” para indicar la proporción en que el árido es permeable al asfalto empleado en la mezcla.

Como puede verse, el peso específico efectivo estará normalmente comprendido entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados.

2.2.3.4 EQUIVALENTE DE ARENA

Tiene como objetivo principal determinar la calidad que tiene un suelo que se va emplear en las capas de un pavimento, esta calidad es desde el punto de vista de finos indeseables de naturaleza práctica.

Este método cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, fracción gruesa, denominado su proporción volumétrica como equivalente de arena.

2.3 MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

2.3.1 DEFINICION

Las mezclas asfálticas son sistemas cohesivos compuesto por tres fases: una sólida (agregados filler, etc), un líquido de elevada viscosidad (asfalto) y por último una gaseosa (aire). Las proporciones relativas en que se combinan estos, determinan las características físicas mecánicas de las mezclas y el comportamiento posterior como pavimento terminado.

La mezcla asfáltica tiene que ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, elevadas temperaturas, etc. Debe ser resistente a las solicitaciones de tránsito a través de su estabilidad. Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

Existen distintos tipos de mezclas asfálticas, una primera división la podemos efectuar considerando su temperatura de elaboración, tendremos entonces las mezclas en frío elaboradas a una temperatura inferior a 100 °C y las en caliente, cuando su temperatura de producción sea superior a la misma.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

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

2.3.2.1 PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS

Como el agregado está compuesto por fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y filler natural, todos con distinto peso específico, los cálculos finales se verán simplificados de gran manera por el cálculo del peso específico bruto del agregado total. Generalmente, los pesos parciales, se expresan en por cientos del peso total del agregado. Para introducir en la fórmula (que se detalla a continuación) el peso específico del agregado grueso y el agregado fino, se utiliza el peso específico masivo (bulk), y para el filler se usa el peso específico aparente; por lo tanto, la fórmula de peso específico promedio, del agregado mineral es la siguiente:

Ec. 2.1 Peso específico de los agregados

$$G_{agreg} = \frac{PA}{VA} = \frac{100}{\frac{\%AG(a)}{G_{ag}(a)} + \frac{\%AF(b)}{G_{ag}(b)} + \frac{\%F(c)}{GF(c)} + \dots + \frac{\%A(n)}{G(n)}}$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Dónde:

G_{agreg} : Peso específico promedio del agregado mineral combinado.

PA : Peso total expresado en porcentaje

$AG(a)$, $AF(b)$, $F(c)$, ... , $A(n)$: Porcentaje de los agregados a, b, c, ..., n

G_{ag} : Pesos específicos brutos de los agregados a, b, c, ..., n

2.3.2.2 DENSIDAD MAXIMA REAL DE LA MEZCLA (gr/cm³)

La densidad de la mezcla compactada está definida como la masa de un volumen específico de la mezcla. La densidad es una característica muy importante en el control de calidad, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento. A veces un exceso de densidad puede producir efectos negativos (reventones).

La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio.

Las mezclas asfálticas cuya densidad real requiere ser determinada, pueden ser moldeadas en laboratorio u obtenerse directamente de un pavimento. El diámetro y longitud de las muestras deben ser no menores a cuatro veces el tamaño máximo del agregado empleado y su altura, por lo menos una vez y medio el tamaño del agregado. La densidad real de la mezcla es comúnmente llamada peso unitario de mezclas asfálticas.

Las muestras obtenidas directamente de un pavimento deben ser representativas de la mezcla empleada y no contener materias extrañas al propio pavimento. Al hacer el ensayo, las muestras deben cubrirse con parafina derretida, al fin de tapar todos los poros o vacíos de la mezcla y dejar la muestra al aire 30 minutos antes de pesarla.

La fórmula para determinar la densidad real de la mezcla de las briquetas es

Ec. 2.2 Densidad Máxima Real de la Mezcla

$$Dr \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{PB(gr)}{VP(cm^3)}$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Dónde:

Dr: Densidad real de la mezcla (briqueta)

PB: Peso de la briqueta sin parafina

VP: Volumen de la briqueta sin parafina

2.3.2.3 VACÍOS DE AIRE (VA) (%)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsa de aire, que están presente en los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional por efecto del tráfico y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante esa compactación adicional.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de huecos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla.

Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y aire y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de huecos puede causar exudación del asfalto, condición donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

Siempre debe haber aire al interior de la muestra, ya que esto permite la flexibilidad de los pavimentos asfálticos. Si las partículas y el asfalto no encuentran espacios vacíos donde acomodarse se produce la exudación.

El porcentaje permitido de vacíos está entre 3 y 5 % dependiendo del diseño específico.

La fórmula para su cálculo es:

Ec. 2.3 Vacíos de aire

$$Vm(\%) = \frac{Dmt - Dm}{Dmt} * 100$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Dónde:

V_m : Vacíos de la mezcla compactada

D_{mt} : Densidad máxima teórica

D_{rm} : Densidad real promedio

2.3.2.4 VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VAM) (%)

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

El V.A.M. representa el espacio disponible para acomodar el “volumen efectivo de asfalto” y el volumen de vacíos en la mezcla.

Figura. 2.3 Esquema de los vacíos en el agregado mineral



Fuente: Instituto chileno-Tecnología del asfalto y prácticas de construcción

Los vacíos del agregado mineral son expresados en porcentaje del volumen total de la muestra. Representan el volumen de la mezcla compacta que no es ocupado por el agregado. El espacio inter granular ocupado por el asfalto y el aire en una mezcla compacta se denomina vacíos del agregado mineral VAM. En el diagrama de componentes, la suma del volumen de aire y el volumen de asfalto efectivo, es el VAM. El volumen de asfalto absorbido por el agregado no es usualmente considerado como parte del VAM. Por lo tanto, los vacíos del agregado mineral, son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compacta de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos de la mezcla.

La fórmula para su cálculo es la siguiente:

Ec. 2.4 Vacíos del Agregado Mineral

$$VAM (\%) = Vm(\%) + \frac{CA(\%) * D_{rm}}{GCA}$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Dónde:

VAM (%): Vacíos del agregado mineral

Vm(%): Vacíos de la mezcla compactada

CA(%): Porcentaje de cemento asfáltico

GCA: Peso específico del cemento asfáltico

D_{rm}: Densidad real promedio

2.3.2.5 RELACIÓN BETUMEN VACÍOS (%)

Expresa el porcentaje de los vacíos del agregado mineral ocupado por el cemento asfáltico en la mezcla compacta.

Esta propiedad es el porcentaje de los vacíos del agregado mineral (VAM) que contiene asfalto. La fórmula de cálculo es la siguiente:

Ec. 2.5 Relación Betumen-Vacíos

$$RBV(\%) = \frac{VAM(\%) - Vm(\%)}{VAM(\%)} * 100$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Dónde:

RBV(%): Relación betumen vacíos

VAM(%): Vacíos del agregado mineral

Vm(%): Vacíos de la mezcla compactada

2.3.2.6 CONTENIDO DE ASFALTO

El contenido de asfalto de una mezcla está determinado por propiedades predeterminadas y establecidas mediante criterios tanto técnicos como económicos.

El contenido de asfalto efectivo es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de agregado.

El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

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

2.3.3 PROPIEDADES DE MEZCLAS ASFALTICAS

Las principales propiedades que contribuyen a la calidad de una mezcla en caliente son:

Estabilidad: es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Depende principalmente de la fricción interna y de la cohesión.

Durabilidad: es la capacidad de un pavimento de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.

Flexibilidad: es la capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.

Resistencia a la fatiga: es la capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas.

Resistencia al deslizamiento: es la cualidad de un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje de los vehículos.

Impermeabilidad: es la resistencia del pavimento a ser penetrado por el aire y el agua.

Trabajabilidad: es la facilidad de una mezcla a colocarse y compactarse.

2.3.4 TIPOS DE ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS CONVENCIONALES

2.3.4.1 MEZCLA EN PLANTA

Las mezclas asfálticas para pavimentos preparadas en planta central son conocidas como mezclas asfálticas en planta. El concreto asfáltico se considera como una mezcla en planta de máxima calidad. Consiste en un agregado pétreo bien graduado, de alta calidad, mezclado con cemento asfáltico. El asfalto y el árido calentados separadamente entre 120 y 165°C cuidadosamente medidos y proporcionados y luego mezclados hasta que las partículas del agregado son recubiertas con asfalto. La mezcla se hace en la unidad mezcladora de la planta. La mezcla en caliente, tiene que ser conservada así durante su transporte, hasta que llega al lugar de construcción donde la distribuyen en la calzada con una maquina denominada Terminadora Asfáltica. La capa lisa es compactada por rodillos hasta lograr la densidad apropiada, antes de que el asfalto se enfríe.

El concreto asfáltico es una de las varias mezclas hechas en planta. También se preparan otras mezclas, tales como arena-asfalto, mortero asfáltico, y mezclas de agregado grueso que se preparan y distribuyen en forma similar. No obstante, todas ellas tienen un ingrediente común: el cemento asfáltico.

Las mezclas asfálticas que contienen asfaltos diluidos o emulsificados pueden ser preparadas también en plantas mezcladoras centrales. El agregado puede ser parcialmente secado y calentado, o mezclado como se lo extrae de la pila de almacenamiento. Estas mezclas son denominadas usualmente mezclas en frío, aun cuando el agregado utilizado en el proceso de mezclado hubiera sido calentado a temperaturas bastante inferiores a las temperaturas necesarias para la elaboración de mezclas en caliente.

Las mezclas hechas con emulsiones asfálticas y algunos asfaltos diluidos pueden ser distribuidas y compactadas en camino mientras están bastante frías. Tales mezclas se llaman asfálticas para distribución en frío. Se las transporta y distribuye a temperatura

templada normal. Para asegurar la evaporación del agua de la emulsión o de los solventes, estas mezclas, después de haber sido colocadas en el camino, son a veces removidas en caballetes desplazados lateralmente en calzada mediante motoniveladora antes de su distribución final y compactación.

2.3.4.2 MEZCLA EN CAMINO (ROAD MIX)

Las emulsiones asfálticas y muchos asfaltos diluidos (aunque el uso de estos está declinando como consecuencia de su costo) son suficientemente fluidos para ser distribuidos y mezclados con el agregado a temperatura ambiente entre normal y templada. Cuando esto se realiza en el área a ser pavimentada, se denomina construcción tipo mezcla en-sitio. Aunque este sea el término más general y se aplique tanto para la construcción de un camino, área de estacionamiento o pista de aterrizaje de aviones, el término *mezcla en el camino* es empleado generalmente cuando se trata de la construcción de este tipo de obra.

La mezcla en sitio puede ser usada para capas de rodamiento, bases y sub-bases. Cuando se emplea como capas superiores o de rodamiento, por lo común es satisfactoria para tránsitos livianos y de volumen medio más que pesado. Sin embargo, los avances en tecnologías de pavimentación, han desarrollado avances en la elaboración de mezclas asfálticas en camino que cumplen con especificaciones de una planta asfáltica estacionaria. Las ventajas del mezclado en sitio incluyen:

- Utilización de agregados existentes en el lecho del camino o disponibles en yacimientos vecinos, que pueden emplearse sin un procesamiento considerable.
- Eliminación del empleo de una planta mezcladora central. La construcción puede ser ejecutada con una variedad de maquinaria frecuentemente disponible en forma rápida, tal como motoniveladoras, mezcladoras giratorias y plantas mezcladoras ambuloperantes.

2.4 MEZCLAS MODIFICADAS CON POLIMEROS

2.4.1 DEFINICION

Los asfaltos modificados son producto de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido. Esto se hace con el fin de modificar sus propiedades físicas y reológicas para disminuir su susceptibilidad a la temperatura, humedad y oxidación.

Para la mayoría de las aplicaciones viales, como carreteras, los asfaltos convencionales tienen buen comportamiento, satisfaciendo plenamente los requisitos necesarios para un desempeño adecuado en mezclas asfálticas en el tráfico en condiciones climáticas. Por lo tanto para condiciones de volumen de vehículos comerciales de peso excesivo y para condiciones climáticas adversas, con grandes diferencias térmicas entre invierno y verano, ha sido cada vez más necesario el uso de modificadores de las propiedades de asfaltos.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interface 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.

2.4.2 IMPORTANCIA DE LAS MEZCLAS MODIFICADAS CON POLIMERO

Está comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades muy satisfactorias bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito.

Sin embargo en la actualidad existen situaciones como grandes e intensos volúmenes de tráfico vehicular y excesos de carga, lo que origina un incremento en la presión de

inflado de las llantas y por consiguiente ocasiona el deterioro en el pavimento, poca durabilidad, deformaciones y otros, por lo tanto no satisfacen las expectativas de cumplir su vida útil.

Además en los 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.

En 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, de ahí se originan los nuevos asfaltos que fueron denominados “Asfaltos Modificados”.

2.4.3 POLIMEROS UTILIZADOS EN LA MODIFICACION DE ASFALTO

2.4.3.1 ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS TIPO ELASTÓMEROS

Se requiere mezclar tres componentes: asfalto, resina base y un endurecedor, lo que complica la modificación ya que debe existir compatibilidad entre estos.

Los asfaltos modificados tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión a los agregados. Si el trabajo con este tipo de asfalto es realizado dentro de los parámetros correctos, su tiempo de vida está condicionado por la vida del agregado, no por el asfalto; en otras palabras el pavimento se deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto). Su resistencia al envejecimiento es excelente.

Son empleados para casos específicos como:

- Zonas de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrapaje.
- Zonas donde se requiere resistir a las maniobras o a los agentes químicos.
- Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad durante largos periodos de tiempo.

Los asfaltos modificados de este tipo están compuestos por los siguientes con polímeros:

- **Látex, hule natural, SBS, SBR:** este tipo de polímero es el más utilizado en la modificación del asfalto, el efecto de la adición de estos al asfalto es aumentar su intervalo de plasticidad y disminuir la susceptibilidad térmica. El punto de ablandamiento puede aumentar hasta 20°C, a temperaturas inferiores a 70°C los asfaltos tienen menor penetración, esto es interesante ya que a estas temperaturas se dan deformaciones en las superficies de rodamiento.

Los asfaltos son más duros pero siguen siendo elásticos lo que evita la formación de roderas y el agrietamiento de las mismas. La rigidez de estos asfaltos ayuda a soportar los largos tiempos de carga sin deformaciones. Entre -10°C y + 10°C el elastómero proporciona al asfalto mayor elasticidad sin aumentar la rigidez.

- **Hule de llanta:** las propiedades que adquiere el asfalto al añadirle este tipo de hule son similares a las que se obtienen con el polímero SBR o SBS aunque, se deben utilizar dosificaciones más elevadas. Las llantas para ser utilizadas como agentes modificadores de asfalto requieren de un proceso físico para reducir sus dimensiones, el cual suele ser complejo.

Estos asfaltos modificados presentan altas viscosidades por lo que se requiere el empleo de algún fluidificante, alrededor del 6% de queroseno. Son usados principalmente en riegos de sello destinados a absorber las grietas debidas a

contracciones y dilataciones, estos riegos son llamados SAM (membranas de absorción de tensiones).

2.4.3.2 ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS TIPO PLASTÓMEROS

Debido a la forma en que estos polímeros se incorporan al asfalto aumentan de forma considerable su viscosidad, incluso en bajas dosificaciones.

Si se aumenta la concentración del polímero, se llega a un punto en el cual la mayoría de los aceites están asociados con el polímero y se produce un cambio drástico en las propiedades físicas del asfalto. Estas se acercan más a las propiedades del polímero que a las del asfalto. Esto sucede cuando el contenido del polímero va de 8 – 10%, en este punto, el asfalto aumenta el intervalo de plasticidad, aumenta la resistencia a la ruptura, disminuye su sensibilidad térmica sobre todo en el intervalo de temperaturas de aplicación.

Los asfaltos modificados de este tipo están compuestos por los siguientes con polímeros:

- **Poliétileno:** este polímero no tiene una alta compatibilidad con el asfalto ni le confiere propiedades espectaculares, pero se usa ya que es un componente de bajo costo y soluciona un problema ecológico, al poder disponer de los desechos de este material en las carreteras. Los asfaltos modificados con este tipo de polímero termoplástico cuando son añadidos en bajas proporciones, poseen las siguientes propiedades:
 - Buena resistencia al calor.
 - Buena resistencia al envejecimiento.
 - Baja viscosidad.

En el plano mecánico:

- La resistencia Marshall aumenta de 2 a 2.5 veces a 25°C mientras que a 0°C y -2.5°C es prácticamente igual a la de un asfalto convencional.
 - Buena flexibilidad a baja temperatura.
 - Cuando es utilizado en concentraciones de 7% aumenta la rigidez del asfalto a temperaturas elevadas.
 - Buena resistencia a deformaciones permanentes.
-
- **PVC:** este polímero tiene baja compatibilidad con el asfalto, no es resistente al calor y se descompone por la acción de la luz solar. Resiste muy bien al agua y/o agentes químicos; es por esto que no es utilizado para la modificación de asfalto.

 - **EVA:** los polímeros o resinas Etilo-Vinil - Acetato son relativamente nuevos en la modificación de asfaltos, son muy compatibles con estos. La relación acetato de vinilo/ etileno es muy importante, pudiéndose variar el contenido de acetato de vinilo de algún % hasta 50% o incluso más. Cuando los contenidos de acetato de vinilo son bajos las propiedades se asemejan a las de los asfaltos mencionados anteriormente. Un polímero EVA con un contenido del 18% de acetato de vinilo es el más adecuado para ser usado en la construcción de carreteras. Cuando se aumenta la concentración de acetato de vinilo en el polímero (15 a 30%), adquiere un excelente poder adherente.

Los asfaltos modificados con EVA poseen las siguientes características:

- Buena estabilidad térmica a un costo razonable.
- Las dosificaciones de polímero oscilan entre el 2 hasta un 10% dependiendo de las propiedades que se pretende obtener.
- La temperatura de ablandamiento aumenta entre 6 y 12°C.

- Excelente resistencia al resquebrajamiento en flexión es decir a las fatigas provocadas por las flexiones o vibraciones repetidas.
- Aumentan la cohesión de las mezclas a medida que se aumenta el contenido del polímero.

2.4.4 PROPIEDADES DEL ASFALTO MODIFICADO

Las principales propiedades físicas y reológicas que se obtienen al modificar un asfalto son las siguientes:

- Aumento de viscosidad, dependiendo de la cantidad y tipo de polímero.
- Disminución de la penetración.
- Aumento del punto de inflamación.
- Disminución la susceptibilidad a las variaciones de temperatura.
- Aumento de 1° y 2° la clasificación PG (Grado de Penetración) del asfalto.
- Elevación de la recuperación elástica del asfalto hasta arriba del 30%.
- Elevación la resiliencia por encima de 25.
- Amplio rango de temperatura en el manejo y almacenamiento.
- Mayor intervalo de plasticidad.
- Mayor cohesión.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

2.5 DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO MARSHALL

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

Solo se aplica a mezclas asfálticas de pavimentación que usan cemento asfáltico con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 (1

pulgada) o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas de pavimentación.

2.5.1 DESCRIPCION DEL MÉTODO MARSHALL

El método Marshall debe cumplirse como se encuentra especificado en la Norma AASHTO T245 (o ASTM D 1559) del “*MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES – ASFALTO; VOLUMEN 4.*”

2.5.2 PROCEDIMIENTO RESUMIDO DEL ENSAYO MARSHALL

Existen tres procedimientos en el método de 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 briquetas.

- **Determinación del peso específico total.**

El peso específico total de cada probeta es determinado tan pronto las briquetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de la densidad-vacíos. El peso específico total se determina usando el procedimiento en la norma AASHTO T 166.

- **Ensayo de Estabilidad y Fluencia.**

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

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

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

- **Valor de Estabilidad Marshall**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una briqueta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, el cabezal superior se acerca al cabezal inferior lentamente, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador. Luego se suspende la aplicación de la carga una vez que la briqueta falla después de haber registrado la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de la Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto es mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material, es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de la durabilidad.

Fig. 2.4 Medidor de estabilidad



Fuente: Elaboración propia

- **Valor de fluencia Marshall.**

La fluencia Marshall medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La figura 12 muestra un medidor típico de fluencia para medir la deformación que ocurre durante el ensayo Marshall. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores altos de estabilidad Marshall son considerados demasiado frágiles y rígidos para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas del tránsito.

Fig. 2.5 Medidor de fluencia



Fuente: Elaboración propia

2.6 TEMPERATURA DE MEZCLAS ASFALTICAS

La temperatura de la mezcla se revisa, por lo regular, en el volquete; sin embargo, debe revisarse con frecuencia detrás de la pavimentadora. Es muy importante hacer esto las primeras horas del día y la superficie sobre la cual se está colocando el material están todavía fríos. La temperatura también deberá revisarse cuando la mezcla aparezca fría o cuando la primera compactadora se esté quedando atrás.

La variación diaria de temperatura entre el día y la noche y la radiación solar son factores importantes que inciden en la calidad de la mezcla. Es así que la temperatura puede afectar características importantes del pavimento, como la flexibilidad de este a bajas temperaturas, ya que la abrasión y desintegración aumentan con la fragilidad.

2.6.1 TEMPERATURA EN EL TRANSPORTE

Aunque la mezcla es inspeccionada en planta, puede ocurrir que se pase por alto, inadvertidamente, una carga defectuosa que pueda ser resultado de una falla en la planta.

Las mezclas asfálticas son transportadas al lugar de ejecución del pavimento y las razones para poder justificar que estas sean rechazadas, ya que no cumplen con las temperaturas especificadas son:

- Temperatura excesiva: el calentamiento en exceso de las mezclas es normalmente indicado por un aviso de humo de coloración azul. La temperatura debe ser verificada inmediatamente de sobrepasar los límites especificados y la carga debe ser rechazada.
- Temperatura baja: si la mezcla asfáltica presenta un aspecto endurecido o un recubrimiento irregular de partículas de agregados. La temperatura debe ser verificada inmediatamente de ser menor que los límites especificados la carga debe ser rechazada.

2.6.2 TEMPERATURA EN PLATAFORMA

Se refiere a la temperatura de compactación de la mezcla, para que la compactación pueda ser ejecutada con eficiencia la temperatura juega un rol muy importante es esta etapa.

Mezclas asfálticas con temperaturas elevadas tienden a fluir y deformarse debido a mayor lubricación y menor ligación por el ligante asfáltico calentado en exceso. Contrariamente, si la temperatura baja mucho, el ligante asfáltico se vuelve plástico y pegajoso, dificultando la compresión de la mezcla y la obtención de un estado más denso.

Cada mezcla asfáltica tiene un rango de temperatura de compactación propia, relacionado a todo tipo de ligante asfáltico utilizado. Generalmente se obtiene mayor eficiencia en la compactación cuando se trabaja con temperaturas próximas al límite superior del rango.

Se ha llegado a determinar que en capas de 5 cm de espesor la temperatura ambiente de distribución debe ser mayor de 15 °C.

En capas de 10 a 20 cm de espesor se admite que esa temperatura sea como mínimo 0°C.

2.7 NORMATIVA A UTILIZAR EN EL PROYECTO DE EXPERIMENTACIÓN

Los ensayos de caracterización se realizarán según correspondan en el “*MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES – ASFALTO; VOLUMEN 4*”

Para cementos asfálticos convencionales:

- Método para determinar la Viscosidad (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)
- Método de ensayo de Penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97)
- Método para determinar los Puntos de inflamación y combustión mediante la Copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96)
- Método para determinar la Ductilidad (ASTM D113 AASHTO T51-00)
- Método para determinar el Punto de Ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. (ASTM D36 AASHTO T53-96)
- Método para determinar la gravedad específica (AASHTO T228)

Para cementos asfálticos modificados:

Se realizarán los mismos ensayos del cemento asfáltico convencional.

Para agregados:

- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88)
- Determinación del peso específico de los suelos (ASTM D854 AASHTO T100)
- Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E131 AASHTO T96-99)
- Método para determinar el equivalente de arena. (ASTM D2419)

El trabajo de campo se realizará con el método:

- Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall (AASHTO T245-97)

CAPITULO III: PREPARACION DE MATERIALES PARA LA INVESTIGACION SOBRE LA INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADA CON POLIMERO Y ASFALTO CONVENCIONAL

3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

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

Los agregados a utilizar para la mezcla asfáltica con cemento convencional son de la Chancadora Lagunitas ubicada en el Municipio de Caraparí.

Figura 3.1 Mapa político de Tarija



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 Provincia Gran Chaco



Fuente: Elaboración propia

Los agregados pétreos a utilizar para la mezcla asfáltica modificada son provistos de la Chancadora Carolina ubicada en la zona de El Molino.

Figura 3.3 Provincia Méndez



Fuente: Elaboración propia

Para la presente investigación se utilizaron dos tipos de cemento asfáltico:

- Cemento asfáltico convencional de procedencia STRATURA ASFALTOS (BRASIL) BETUPEN 60 – 70.
- Cemento asfáltico modificado de procedencia STRATURA ASFALTOS (BRASIL) BETUFLEX 60-85.

Figura 3.4 CEMENTO ASFALTICO BETUMEN



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO BETUFLEX




Fuente: Elaboración propia

3.2 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN PARA EL AGREGADO PETREO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

3.2.1 GRANULOMETRIA

Tabla 3.1 Combinación de agregados Chancadora: Lagunitas

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARJIA-BOLIVIA) COMBINACION DE LOS AGREGADOS GRAFICA PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL DURANTE EL PROCESO DE MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCADO EN PLATAFORMA											
	AGREGADO: PROCEDENCIA CHANCADORA LAGUNITAS				MUESTRA N°: 1				FECHA: 13 DE ABRIL DE 2015			
	LABORATORISTA: CARLA ALEJANDRA NAVA PLANTARROSA											

MATERIAL	plg.	1 1/2"		1"		3/4"		1/2"		3/8"		N° 4		N° 8		N° 16		N° 40		N° 200	
	mm.	38,10		25,40		19,05		12,70		9,53		4,75		2,38		1,19		0,42		0,08	
	%	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M
Grava de 3/4"	33,0	100,0	33,0	100,0	33,0	99,2	32,7	39,1	12,9	7,0	2,3	0,4	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
Grava de 3/8"	27,0	100,0	27,0	100,0	27,0	100,0	27,0	98,8	26,7	97,4	26,3	26,8	7,2	10	0,3	0,9	0,2	0,8	0,2	0,2	0,1
Arena Natural	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0
Arena Triturada (GT 00)	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	99,1	39,7	87,9	35,1	71,1	28,4	53,7	21,5	42,4	17,0	9,4	3,8
RESULTANTE	100,0		100,0		100,0		99,73		79,6		68,3		42,5		28,8		21,8		17,3		3,9
ESPECIFICACIONES (M in-M ax)																					

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.1 Curva Granulométrica (Agregado: Chancadora Lagunitas)



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 RESULTADOS DE CARACTERIZACION DE AGREGADO PETREO (CHANCADORA LAGUNITAS)


Tabla 3.2 Resultados de Caracterización de Agregado de Chancadora Lagunitas

AGREGADO PETREO (CHANCADORA LAGUNITAS)					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Desgaste de los Ángeles: Grava	%	34,54		>35	T 96-99
Desgaste de los Ángeles: Gravilla	%	22,40		>35	T 96-99
Peso Específico Aparente Agregado Grueso	gr./cm ³	2,645			T 85-91
Peso Específico Aparente Agregado Fino	gr./cm ³	2,679			T 84-00
Equivalente de arena	%	53,84	50		T 176-00

Fuente: Elaboración propia

3.3 CARACTERIZACIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

Tabla 3.3 Resultados de Caracterización de Cemento Asfáltico Convencional

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARJA-BOLIVIA) CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL DURANTE EL PROCESO DE MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCADO EN PLATAFORMA	
	CEMENTO ASFALTICO : BETUPEN 60-70	MUESTRA N°: 1

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Peso Pícnómetro	grs.	107,00	106,90				
Peso Pícnómetro + Agua (25°C)	grs.	590,00	589,50				
Peso Pícnómetro + Muestra	grs.	328,00	327,70				
Peso Pícnómetro + Agua + Muestra	grs.	592,90	591,80				
Peso Específico	grs./cm ³	1,010	1,008		1,009	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>232	>232	>232	>232	>232	
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	106	104	100	103	75	
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	62	63	63			
	Lectura N°2	63	62,5	60			
	Lectura N°3	63	60	60			
	Promedio	mm.	62,7	61,8	61,0	61,8	60
Viscosidad Saybolt 135 °C AASHTO	seg.	No fluye					
Ensayo de la mancha					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente gasolina standart					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente gasolina-xilol, % xilol					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente heptano-xilol, % xilol					No se realizo	NEGATIVO	
Ensayo de película delgada en horno					No se realizo		
* Pérdida en masa	%				No se realizo		
* Penetración del residuo, penetración	%				No se realizo	47	
Índice de susceptibilidad térmica					No se realizo	-1	1
Punto de ablandamiento	°C	60,0	54,0	57,0	57	53	65


Ing. Adolfo Molina
RESP. DE LAB. DE ASFALTOS UAJMS

Fuente: Elaboración propia

3.4 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN PARA EL AGREGADO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

3.4.1 GRANULOMETRÍA

Tabla 3.4 Combinación de agregados Chancadora: Carolina

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARIFA-BOLIVIA) COMBINACION DE LOS AGREGADOS GRAFICA PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL DURANTE EL PROCESO DE MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCADO EN PLATAFORMA														
	AGREGADO: PROCEDENCIA CHANCADORA CAROLINA					MUESTRA N°: 1					FECHA: 3 DE ABRIL DE 2015				
	LABORATORISTA: CARLA ALEJANDRA NAVA PLANTARROSA														

DOSIFICACION DE MATERIALES

PLANILLA DE GRANULOMETRIA PROYECTADA

MATERIAL	plg.	1 1/2"		1"		3/4"		1/2"		3/8"		N° 4		N° 10		N° 40		N° 80		N° 200	
	mm.	38,10		25,40		19,05		12,70		9,53		4,75		2,00		0,42		0,16		0,08	
	%	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M
Grava de 3/4"	20,0	100,0	20,0	100,0	20,0	81,4	16,3	22,3	4,5	7,4	15	2,2	0,4	15	0,3	12	0,2	11	0,2	0,7	0,1
Grava de 3/8"	35,0	100,0	35,0	100,0	35,0	100,0	35,0	100,0	35,0	96,7	33,9	41,9	14,7	8,1	2,8	5,2	1,8	4,6	1,6	2,9	1,0
Arena Natural	25,0	100,0	25,0	100,0	25,0	100,0	25,0	100,0	25,0	99,5	24,9	89,2	22,3	63,1	15,8	36,8	9,2	28,7	7,2	13,9	3,5
Arena Triturada	20,0	100,0	20,0	100,0	20,0	100,0	20,0	100,0	20,0	99,9	20,0	99,2	19,8	65,3	13,1	35,8	7,2	28,5	5,7	14,6	2,9
RESULTANTE	100,0		100,0		100,0		96,3		84,5		80,2		57,2		32,0		18,4		14,7		7,6

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.2 Curva Granulométrica (Agregado: Chancadora Carolina)



Fuente: Elaboración propia

3.4.2 RESULTADOS DE CARACTERIZACION DE AGREGADO PETREO (CHANCADORA CAROLIINA)


Tabla 3.5 Resultados de Caracterización de Agregado de Chancadora Carolina

AGREGADO PETREO (CHANCADORA CAROLINA)					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Desgaste de los Ángeles: Grava	%	30,90		>35	T 96-99
Desgaste de los Ángeles: Gravilla	%	32,10		>35	T 96-99
Peso Específico Aparente Agregado Grueso	gr./cm ³	2,646			T 85-91
Peso Específico Aparente Agregado Fino	gr./cm ³	2,562			T 84-00
Equivalente de arena	%	76,77	50		T 176-00

Fuente: Elaboración propia

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS

*Tabla 3.6 Resultados de Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado
BETUFLEX*

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN CARRERA DE INGENIERIA CIVIL(TARJ A-BOLIVIA) CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL DURANTE EL PROCESO DE MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCADO EN PLATAFORMA		
	CEMENTO ASFALTICO : BETUFLEX 60-85	MUESTRA N°: 1	FECHA: 05/ ABRIL DE 2015 LABORATORISTA: CARLA ALEJANDRA NAVA PLANTARROSA

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Peso Pícnómetro	grs.	87,20	87,30				
Peso Pícnómetro + Agua (25°C)	grs.	168,50	168,10				
Peso Pícnómetro + Muestra	grs.	157,23	159,30				
Peso Pícnómetro + Agua + Muestra	grs.	168,60	169,20				
Peso Específico	grs./cm ³	0,999	1,013		1,006	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>235	>230	>235	>233	>235	
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	150	145	140	145	75	
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0,1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	45	47	46			
	Lectura N°2	46	48	46			
	Lectura N°3	49	48	48			
	Promedio	mm.	46,7	47,7	46,7	47,0	40
Viscosidad Saybolt 135 °C AASHTO	seg.	No fluye					
Ensayo de la mancha					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente gasolina standart					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente gasolina-xilol, % xilol					No se realizo	NEGATIVO	
Solvente heptano-xilol, % xilol					No se realizo	NEGATIVO	
Ensayo de película delgada en horno					No se realizo		
* Pérdida en masa	%				No se realizo		
* Penetración del residuo, penetració	%				No se realizo	47	
Índice de susceptibilidad térmica					No se realizo	-1	1
Punto de ablandamiento	°C	63,0	63,0	62,0	63	>60	

Ing. Adolfo Molina

RESP. DE LAB. DE ASFALTOS UAJMS

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: DISEÑO, EVALUACION Y ANALISIS DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para conocer y analizar posteriormente la incidencia de la temperatura que afecta en las mezclas asfálticas ya sean estas convencionales o modificadas se realizó el siguiente procedimiento, que se describe a continuación:

Se realizaron mediciones de temperatura de la mezcla para obtener rangos de estas en las diferentes etapas de la mezcla. Cuando esta sale de planta se midió la temperatura con un termómetro laser. Así mismo se midió también cuando la mezcla fue transportada al tramo de pavimentación, esta medición se realizó cuando el volquete vació la mezcla a la tolva de la terminadora. En la siguiente etapa, se midió la temperatura cuando la mezcla sale de la terminadora a la plataforma.

Figura 4.1 Medición de muestra a la salida de planta



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Medición de temperatura en la tolva de la terminadora



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Medición de temperatura en plataforma



Fuente: Elaboración propia

Una vez conocidos los rangos de temperatura de la mezcla asfáltica en las etapas mencionadas, se extrajo muestra de planta y se realizaron briquetas a diferentes temperaturas de compactación para cada etapa de la mezcla.

Tabla 4.1 Resumen de rangos de temperaturas medidas para cada etapa

Rangos de Temperaturas de Compactación		
Etapas de Mezcla Asfáltica	Mezcla Asfáltica Convencional	Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero SBS
Salida de planta	175°C - 170°C	185°C - 180°C
Transporte	170°C - 155°C	180°C - 155°C
Colocado en plataforma	150°C - 140°C	150°C - 140°C
Máximos y Mínimos	175°C - 100°C	185°C - 120°C

Fuente: Elaboración propia

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.

Figura 4.4 Preparación de moldes y martillo en horno



Fuente:

*Figura 4.5
muestra en molde*

Elaboración propia

Colocación de



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Medición de temperatura en molde



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Muestra compactada en ambas caras



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Desmolde de briquetas una vez frías



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Peso seco de briqueta



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Secando briqueta luego de ser saturada durante 15-20 min



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Peso Sumergido de Briqueta



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Briqueta en baño de agua a 60 °C



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Briqueta en Prensa Marshall



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Briqueta deformada



Fuente: Elaboración propia

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.3.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE TRABAJO CON ASFALTO CONVENCIONAL

Tabla 4.2 Diseño Marshall de Mezcla Convencional

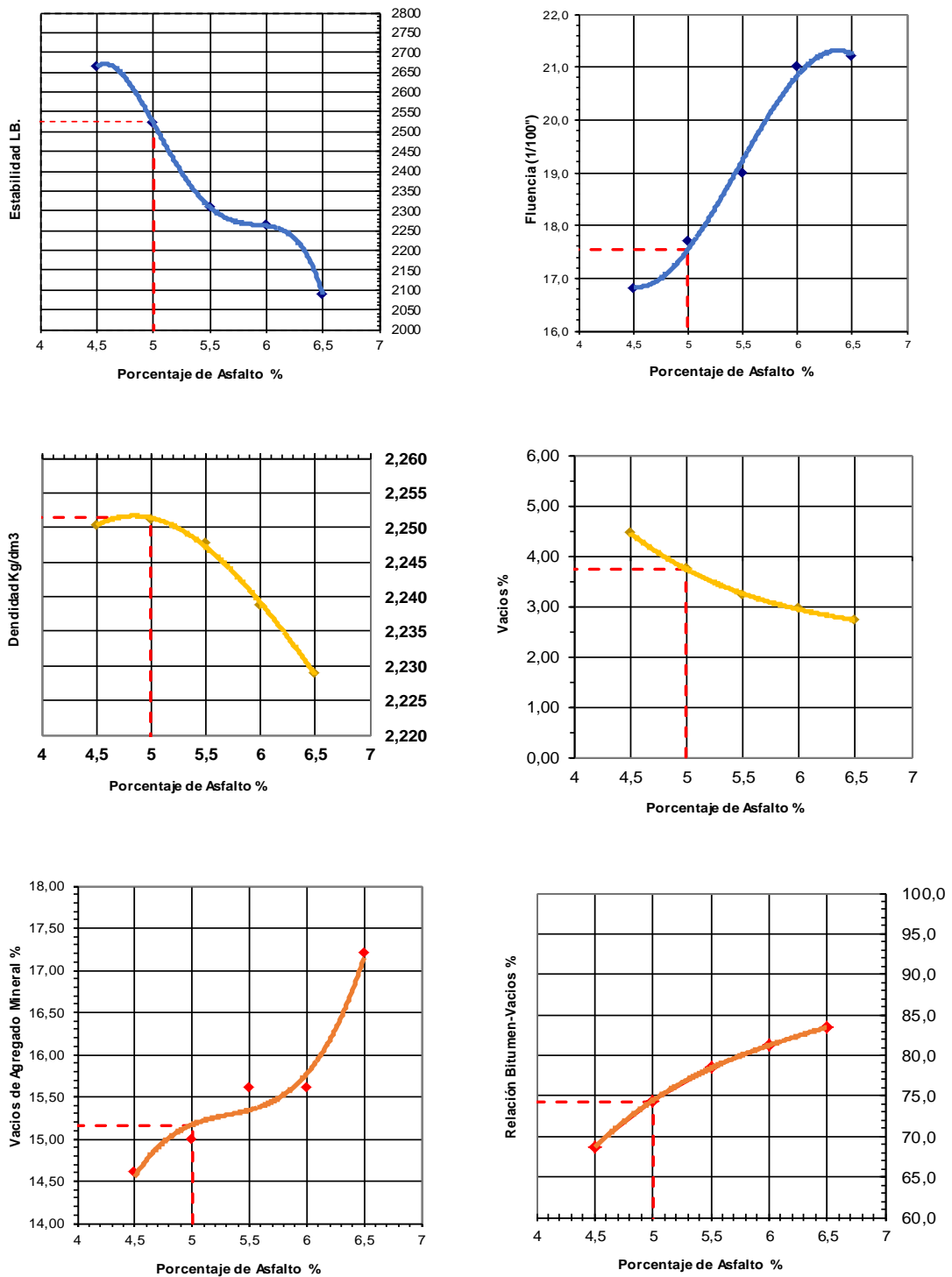
N° PROBETA		Altura de Probeta	% DE ASFALTO		Peso			Vol.	Densidad			Vacíos				Estabilidad				Fluencia		
			Del Agregado	De la Mezcla	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en Agua	Probeta	Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Máxima Teórica	% de Vacíos Mezcla Total	V.A.M. (Vacíos Agregados Mineral)	R.B.V. (Relación Bénumen Vacíos)	LEC. DIAL	Carga	Factor corrección	Carga Real Corregiada	Carga Promedio	En 1/100 pulgadas	Promedio	
1	6,50	95,5	4,5	1194,0	1197	667,0	530,0	2,253								61	2789	0,963	2685	libras	0,01 in	
2	6,50	95,5	4,5	1197,0	1199,0	666,0	533,0	2,246								59	2698	0,963	2597		16,0	
3	6,40	95,5	4,5	1187,0	1192,0	665,0	527,0	2,252	2,250	2,355		4,45	14,6	68,7	60	2744	0,988	2710	libras	libras	16,9	16,8
4	6,40	95,0	5,0	1192,0	1196,0	666,0	530,0	2,249							56	2560	1,005	2573			17,0	
5	6,40	95,0	5,0	1192,0	1195,0	670,0	525,0	2,270							56	2560	0,98	2509			18,0	
6	6,40	95,0	5,0	1195,0	1200,0	665,0	535,0	2,234	2,251	2,339		3,75	15,0	74,4	54	2468	1,005	2481	libras	libras	18,0	17,7
7	6,30	94,5	5,5	1193,0	1195,0	664,0	531,0	2,247							50	2285	1,005	2296			19,0	
8	6,40	94,5	5,5	1194,0	1197,0	665,0	532,0	2,244							49	2239	1,000	2239			20,0	
9	6,40	94,5	5,5	1198,0	1200,0	668,0	532,0	2,252	2,248	2,323		3,23	15,6	78,5	53	2423	0,987	2391	libras	libras	18,0	19,0
10	6,30	94,0	6,0	1195,0	1196,0	660,0	536,0	2,229							48	2193	1,005	2204			21,0	
11	6,20	94,0	6,0	1197,0	1198,0	664,0	534,0	2,242							49	2239	1,000	2239			22,0	
12	6,30	94,0	6,0	1199,0	1199,0	665,0	534,0	2,245	2,239	2,307		2,95	16,4	81,2	50	2285	1,025	2342	libras	libras	20,0	21,0
13	6,20	93,5	6,5	1201,0	1203,0	658,0	545,0	2,204							47	2147	0,987	2119			21,0	
14	6,30	93,5	6,5	1194,0	1196,0	665,0	531,0	2,249							45	2056	0,987	2029			21,0	
15	6,20	93,5	6,5	1193,0	1194,0	660,0	534,0	2,234	2,229	2,291		2,72	17,2	83,5	46	2102	1,005	2112	libras	libras	21,5	21,2

DOSIFICACION DE LA MEZCLA			
MATERIAL	%		Peso específico, g/cm ³
GRAVA	34		2,643
ARENA	66		2,451
			2,516

CEMENTO ASFALTICO	
Tipo de asfalto	60 - 70
Peso específico, g/cm ³ :	1,009

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.1 Diseño Marshall de Mezcla Convencional



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3 Resumen de propiedades de Diseño Marshall

RESUMEN

Porcentaje Óptimo	5,0	%	Vacíos de Aire	3,7	%
Estabilidad	2527	lbs.	V.A.M.	15,2	%
Fluencia	17,5	0,01 "		74,3	%
Densidad	2,251	g/cm³	Rel. Betumen- Vacíos		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos del Marshall de la mezcla convencional se considera que los parámetros de medición están dentro de lo aceptable para este tipo de mezclas:

- a) La estabilidad es de 2527 lbs. mayor a la especificada de acuerdo a las normas de la AASTHO y adoptadas por la Administradora Boliviana de Carreteras que establece que debe ser mayor a 2000 lbs, por lo que consideramos que tiene una estabilidad mayor a la requerida y por lo que su comportamiento ante las cargas del pavimento serán con mayor calidad.
- b) La fluencia o deformación de la mezcla asfáltica está en 17,5 centésimas de pulgada lo que es menor a la especificada de 25 para este tipo de mezclas esto nos garantiza que al ser puesto en servicio las cargas de tráfico no ejercerán deformaciones en el pavimento que afecten a su confort y seguridad.
- c) El porcentaje de vacíos de la mezcla es de 3,7% menor a la que se toma de diseño según especificaciones de 4% por lo que está dentro lo aceptable para una mezcla convencional, eso nos asegura una buena densificación en la mezcla.
- d) La relación betúmen-vacíos es de 74,3% que está dentro de las especificaciones cuyo rango es de 70 – 85% esto nos garantiza que los vacíos están ocupados por cemento asfáltico y lograra la adhesión entre asfalto y partículas del esqueleto mineral de la mezcla con mayor consistencia.

4.3.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN EN MEZCLA CONVENCIONAL

4.3.2.1 DURANTE LA ETAPA DE SALIDA DE PLANTA

Tabla 4.4 Ensayo Marshall en Mezcla Convencional - etapa: Salida de planta

N° de probeta		Altura de probeta		% de Asfalto		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta			% de vacíos			Estabilidad Marshall				Flujo			Temperatura de compactación	
				Del agregado	De la mezcla	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua		Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teorica	% de vacíos mezcla tota	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de correccion	Carga real corregida	Carga promedio	Lectura dial del flujo	Flujo real	Flujo promedio	Temperatura
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%	libras		libras	libras	0,01in			°C	°C		
1	6,5	5	5,3	1197	1198	679,2	518,8	2,307						88	4027,676	0,963	3878,652		15,20	0,0060		175		
2	6,4	5	5,3	1198	1197	688,6	508,4	2,356						90	4119,398	0,988	4069,966		16,20	0,0064		175		
3	6,4	5	5,3	1196	1196	686,4	509,6	2,347	2,337	2,407	2,930	7,70	61,95	88	4027,676	0,988	3979,344	3975,987	15,80	0,0062	15,73	175	175	
4	6,3	5	5,3	1191	1193	674,5	518,5	2,297						85	3890,093	1,013	3940,664		16,40	0,0065		174		
5	6,6	5	5,3	1196	1198	683,8	514,2	2,326						75	3431,483	0,943	3235,889		16,00	0,0063		174		
6	6,7	5	5,3	1196	1197	686,4	510,6	2,342	2,322	2,407	3,557	8,30	57,14	90	4119,398	0,923	3802,205	3659,586	16,40	0,0065	16,27	174	174	
7	6,7	5	5,3	1193	1196	677,4	518,6	2,300						92	4211,120	0,923	3886,864		16,00	0,0063		174		
8	6,7	5	5,3	1199	1201	686,6	514,4	2,331						88	4027,676	0,923	3717,545		16,50	0,0065		173		
9	6,7	5	5,3	1196	1199	679,8	519,2	2,304	2,312	2,407	3,979	8,70	54,27	80	3660,788	0,923	3378,907	3661,106	16,80	0,0066	16,43	173	173	
10	6,6	5	5,3	1195	1196	656,2	539,8	2,214						87	3981,815	0,943	3754,852		17,30	0,0068		172		
11	6,5	5	5,3	1197	1198	678,5	519,5	2,304						75	3431,483	0,963	3235,889		16,90	0,0067		172		
12	6,6	5	5,3	1196	1198	683,4	514,6	2,324	2,281	2,407	5,264	9,90	46,83	85	3890,093	0,943	3746,160	3578,967	16,20	0,0064	16,80	172	172	
13	6,5	5	5,3	1197	1198	654,6	543,4	2,203						85	3890,093	0,963	3746,160		17,00	0,0067		171		
14	6,5	5	5,3	1197	1198	681,8	516,2	2,319						77	3523,205	0,963	3392,846		16,50	0,0065		171		
15	6,4	5	5,3	1196	1197	666,9	530,1	2,256	2,259	2,407	6,153	10,80	43,03	80	3660,788	0,988	3616,859	3585,288	17,40	0,0069	16,97	171	171	

Fuente: Elaboración propia

Para la etapa en que la mezcla sale de planta se realizaron cinco ensayos Marshall, es decir, quince briquetas elaboradas con mezcla convencional, a las diferentes temperaturas de compactación para esta etapa.

Para respaldar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el fin de analizar la confiabilidad de los valores de Estabilidad obtenidos.

4.3.2.1.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTABILIDAD

Con los resultados de Estabilidad del diseño Marshall de la tabla 4.4 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Es importante aclarar que no se realizó un análisis probabilístico debido a que la Variable Dependiente: Estabilidad y Fluencia, tienen una ocurrencia que no es al azar, sino que obedece a las condiciones de temperatura que tiene la planta en la elaboración de la mezcla.

Tabla 4.5 Análisis Estadístico de la Estabilidad en etapa: Salida de planta

$\text{Media} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	3692,187
$\text{Mediana} = \frac{X_{n+1}}{2} =$	3746,160
$\text{Desviación Estándar} =$ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	266,180

Fuente: Elaboración propia

Los resultados tienden a extenderse alrededor de un valor medio, que es el rango y se obtiene mediante dos límites, estos son: la resta de la media con la desviación estándar y la suma de la media y la desviación estándar.

Tabla 4.6 Rangos de Estabilidad en etapa: Salida de planta

$\bar{X} - \sigma$	=	3426,007
$\bar{X} + \sigma$	=	3958,367

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Estabilidad se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.7 Depuración de datos de Estabilidad - etapa: Salida de planta

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	3428,04 - 3958,367	3878,652	No Depurado
2	3428,04 - 3958,367	4069,966	Depurado
3	3428,04 - 3958,367	3979,344	Depurado
4	3428,04 - 3958,367	3940,664	Depurado
5	3428,04 - 3958,367	3235,889	Depurado
6	3428,04 - 3958,367	3802,205	No Depurado
7	3428,04 - 3958,367	3886,864	No Depurado
8	3428,04 - 3958,367	3717,545	No Depurado
9	3428,04 - 3958,367	3378,907	Depurado
10	3428,04 - 3958,367	3754,852	No Depurado

11	3428,04 - 3958,367	3235,889	Depurado
12	3428,04 - 3958,367	3746,160	No Depurado
13	3428,04 - 3958,367	3746,160	No Depurado
14	3428,04 - 3958,367	3392,846	Depurado
15	3428,04 - 3958,367	3616,859	No Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.8

Tabla 4.8 Estabilidad promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	3878,652	
2	-	
3	3979,344	3928,998
4	-	
5	-	
6	3802,205	3802,205
7	3886,864	
8	3717,545	
9	-	3802,205
10	3754,852	
11	-	
12	3746,160	3750,506
13	3746,160	
14	-	
15	3616,859	3681,509

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Estabilidad y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Estabilidades Finales.

Se observa los resultados finales de Estabilidad a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.9

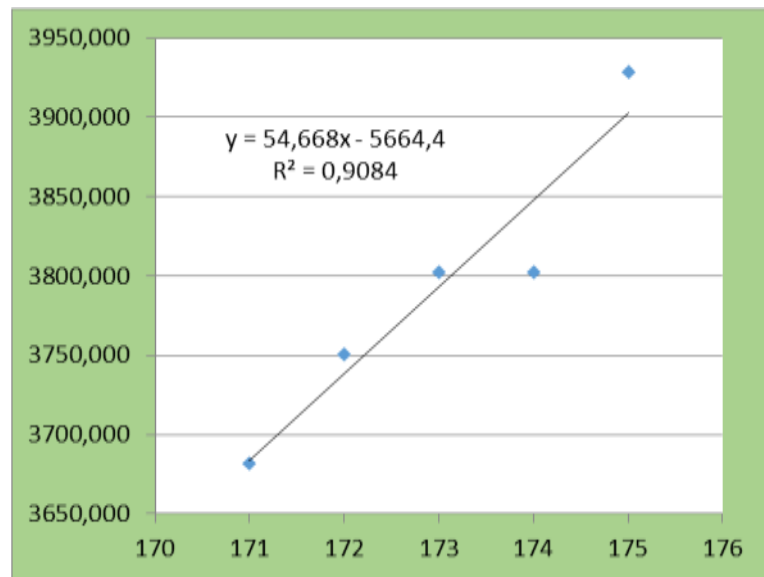
Tabla 4.9 Resultados finales de Estabilidad – etapa: Salida de planta

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Estabilidad (lbs)
175	3928,998
174	3802,205
173	3802,205
172	3750,506
171	3681,509

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Estabilidad vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Estabilidad a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.2 Estabilidad Vs. Temperatura de compactación en etapa: salida de planta



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.2 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

Los resultados de la investigación muestran que la Estabilidad, como indicador más importante de la resistencia de la mezcla asfáltica tiene una afectación importante a causa de la variación de temperatura. Aunque la etapa de planta es un punto de estudio menos crítico con respecto a la temperatura debido al poco tiempo de exposición al ambiente natural, se observa una reducción de 175°C a 170°C que muestra una pérdida de estabilidad de 230 lib. y que deben tomarse en cuenta considerando que existirán en el proceso más condiciones para reducción de la temperatura.

La estabilidad es una propiedad de la mezcla asfáltica muy importante cuyos valores deben cuidarse en el sentido de que estén dentro de especificaciones, por tanto si la temperatura es un factor de reducción de su valor debe considerarse en el proceso de elaboración en la planta y su carguío a volquetes de transporte que este proceso se realice con la rapidez necesaria que causa la menor pérdida de temperatura.

4.3.2.1.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LA FLUENCIA

Con los resultados de Fluencia del diseño Marshall de la tabla 4.4 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.10 Análisis Estadístico (Fluencia) Etapa: Salida de planta

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	16,440
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	16,400
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	0,584

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Fluencia se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.11 Rangos de Fluencia en etapa: Salida de planta

$\bar{X} - \sigma$	=	15,63
$\bar{X} + \sigma$	=	16,88

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Fluencia se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.12 Depuración de datos de Fluencia - etapa: Salida de planta

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	15,86 - 17,02	15,20	Depurado
2	15,86 - 17,02	16,20	No Depurado
3	15,86 - 17,02	15,80	Depurado
4	15,86 - 17,02	16,40	No Depurado
5	15,86 - 17,02	16,00	No Depurado
6	15,86 - 17,02	16,40	No Depurado
7	15,86 - 17,02	16,00	No Depurado
8	15,86 - 17,02	16,50	No Depurado
9	15,86 - 17,02	16,80	No Depurado
10	15,86 - 17,02	17,30	Depurado
11	15,86 - 17,02	16,90	No Depurado
12	15,86 - 17,02	16,20	No Depurado
13	15,86 - 17,02	17,00	Depurado
14	15,86 - 17,02	16,50	No Depurado
15	15,86 - 17,02	17,40	Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Fluencia que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.13

Tabla 4.13 Fluencia promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	-	
2	16,200	
3	-	16,200
4	16,400	
5	16,000	
6	16,400	16,267
7	16,000	
8	16,500	
9	16,800	16,433
10	-	
11	16,900	
12	16,200	16,550
13	-	
14	16,500	
15	-	16,500

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Fluencia y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Fluencias Finales.

Se observa los resultados finales de Fluencia a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.14

Tabla 4.14 Resultados finales de Fluencia – etapa: Salida de planta

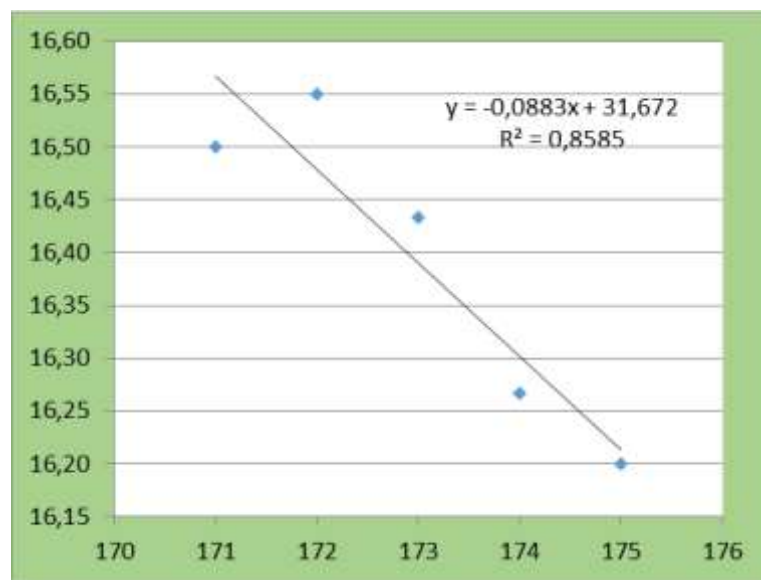
Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Fluencia (0,01 pulg)

175	16,20
174	16,27
173	16,43
172	16,55
171	16,50

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Fluencia vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Fluencia a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.3 Fluencia Vs. Temperatura de Compactación en etapa: Salida de planta



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.3 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

En la etapa en que la mezcla es producida y sale de planta se observa que el rango de temperatura es de 175°C a 170°C, de acuerdo a las mediciones tomadas de su deformación o

fluencia se evidencia que existe un incremento de la fluencia a medida que se pierden grados de temperatura, esta condición es desfavorable porque cuando mayor es la fluencia podría generar mayor irregularidad superficial que influya en el confort y seguridad del pavimento para el usuario.

4.3.2.2 DURANTE LA ETAPA DE TRANSPORTE

Tabla 4.15 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas - Etapa: Transporte

N° de probeta		altura de probeta		% de Asfalto			Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta			% de vacios			Estabilidad Marshall				Flujo			Temperatura de compactación	
				Del agregado	De la mezcla	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta		Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% 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		
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%	libras		libras	libras	0,01 in			°C	°C			
1	6,4	5	5,3	1196	1198	679,3	518,7	2,306						75	3431,483	0,988	3390,305		16,50	0,0065		170			
2	6,3	5	5,3	1196	1197	669,7	527,3	2,268						62	2835,290	1,013	2872,149		16,70	0,0066		170			
3	6,6	5	5,3	1193	1194	658,6	535,4	2,228	2,267	2,407	5,816	13,70	57,55	78	3569,066	0,943	3365,629	3209,3611	15,80	0,0062	16,33	171	170		
4	6,7	5	5,3	1197	1198	672,6	525,4	2,278						65	2972,873	0,923	2743,962		16,70	0,0066		167			
5	6,5	5	5,3	1194	1196	668,9	527,1	2,265						75	3431,483	0,963	3304,518		17,50	0,0069		168			
6	6,5	5	5,3	1195	1196	656,6	539,4	2,215	2,253	2,407	6,415	14,20	54,83	77	3523,205	0,963	3392,846	3147,1088	16,80	0,0066	17,00	167	167		
7	6,6	5	5,3	1195	1196	666,4	529,6	2,256						66	3477,344	0,943	3279,135		17,00	0,0067		158			
8	6,7	5	5,3	1197	1199	659,3	539,7	2,218						77	3156,317	0,923	2913,281		16,70	0,0066		156			
9	6,6	5	5,3	1194	1196	669,6	526,4	2,268	2,248	2,407	6,641	14,40	53,88	60	2972,873	0,943	2803,419	2998,6117	16,60	0,0065	16,77	158	157		
10	6,7	5	5,3	1195	1196	662,6	533,4	2,240						61	3018,734	0,923	2786,291		16,30	0,0064		155			
11	6,4	5	5,3	1193	1194	658,3	535,7	2,227						60	3523,205	0,988	3480,927		16,80	0,0066		154			
12	6,5	5	5,3	1196	1198	668,2	529,8	2,257	2,242	2,407	6,887	14,60	52,83	73	2743,568	0,963	2642,056	2969,7579	17,30	0,0068	16,80	154	154		
13	6,6	5	5,3	1194	1196	660,8	535,2	2,231						76	2789,429	0,943	2630,431		17,40	0,0069		152			
14	6,4	5	5,3	1196	1198	657,2	540,8	2,212						69	2743,568	0,988	2710,645		16,90	0,0067		153			
15	6,3	5	5,3	1196	1197	665,4	531,6	2,250	2,231	2,407	7,337	15,10	51,41	65	3339,761	1,013	3383,178	2908,0848	17,00	0,0067	17,10	152	152		

Fuente: Elaboración propia

Para la etapa en que la mezcla es transportada al tramo de pavimentación se realizaron también cinco ensayos Marshall, es decir, quince briquetas elaboradas con mezcla convencional, a las diferentes temperaturas de compactación para esta etapa.

Para respaldar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el fin de analizar la confiabilidad de los valores de Estabilidad obtenidos.

4.3.2.2.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTABILIDAD

Con los resultados de Estabilidad del diseño Marshall de la tabla 4.15 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.16 Análisis Estadístico de la Estabilidad Etapa: Transporte

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	3058,668
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	2913,281
Desviación Estándar= $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	314,826

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Estabilidad se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.17 Rangos de Estabilidad Etapa: Transporte

$$\bar{X} - \sigma = 2721,587$$

$$\bar{X} + \sigma = 3371,583$$

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Estabilidad se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.18 Depuración de datos de Estabilidad - etapa: Transporte

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	2721,587 - 3371,583	3390,305	Depurado
2	2721,587 - 3371,583	2872,149	No Depurado
3	2721,587 - 3371,583	3365,629	No Depurado
4	2721,587 - 3371,583	2743,962	No Depurado
5	2721,587 - 3371,583	3304,518	No Depurado
6	2721,587 - 3371,583	3392,846	No Depurado
7	2721,587 - 3371,583	3279,135	No Depurado
8	2721,587 - 3371,583	2913,281	No Depurado
9	2721,587 - 3371,583	2803,419	No Depurado
10	2721,587 - 3371,583	2786,291	No Depurado
11	2721,587 - 3371,583	3480,927	Depurado

12	2721,587 - 3371,583	2642,056	Depurado
13	2721,587 - 3371,583	2630,431	Depurado
14	2721,587 - 3371,583	2710,645	No Depurado
15	2721,587 - 3371,583	3383,178	Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.19

Tabla 4.19 Estabilidad promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	-	
2	2872,149	
3	3365,629	3118,889
4	2743,962	
5	3304,518	
6	3392,846	3147,109
7	3279,135	
8	2913,281	
9	2803,419	2998,612
10	2786,291	
11	-	
12	-	2786,291
13	-	
14	2710,645	
15	-	2710,645

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Estabilidad y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Estabilidades Finales.

Se observa los resultados finales de Estabilidad a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.20

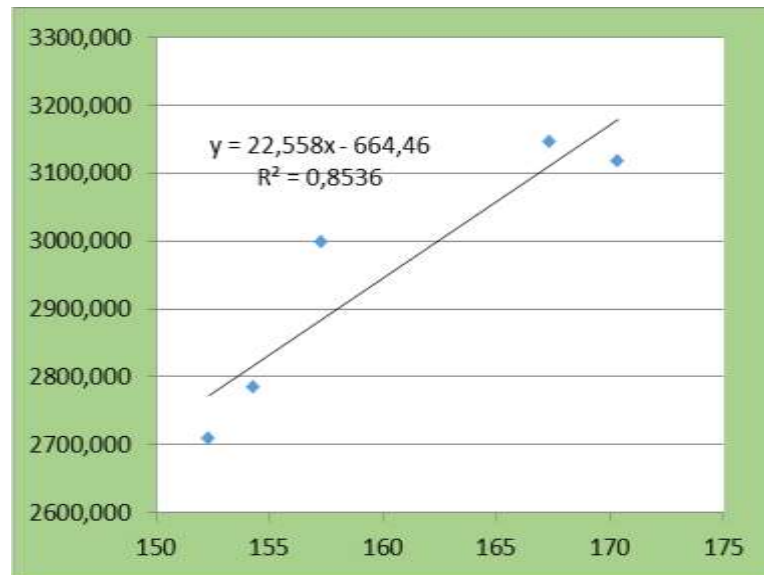
Tabla 4.20 Resultados finales de Estabilidad – etapa: Transporte

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Estabilidad (lbs)
170	3118,889
167	3147,109
157	2998,612
154	2786,291
152	2710,645

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Estabilidad vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Estabilidad a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.4 Estabilidad Vs. Temperatura de compactación en etapa: Transporte



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.4 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

Se observa una reducción de temperatura de la mezcla de 170°C a 150°C, que muestra una pérdida de estabilidad de 340 lbs. y que deben tomarse en cuenta en la siguiente etapa de extendido en plataforma para que la mezcla no sea compactada a temperaturas muy bajas de las especificadas.

En la gráfica se puede observar una importante disminución de la Estabilidad, ya que el transporte de la mezcla asfáltica desde la planta a la plataforma es la etapa más crítica con respecto a la temperatura, debido a que las condiciones ambientales externas como lluvia, viento, humedad, etc. Van a influir directamente en la temperatura de la mezcla que llega a plataforma.

4.3.2.2.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LA FLUENCIA

Con los resultados de Fluencia del diseño Marshall de la tabla 4.15 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.21 Análisis Estadístico (Fluencia)
Etapa: Transporte

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	16,80
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	16,80
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	0,43

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Fluencia se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.22 Rangos de Fluencia Etapa: Transporte

$\bar{X} - \sigma$	=	16,37
$\bar{X} + \sigma$	=	17,23

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Fluencia se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.23 Depuración de datos de Fluencia - etapa: Transporte

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	16,37 - 17,23	16,50	No Depurado
2	16,37 - 17,23	16,70	No Depurado
3	16,37 - 17,23	15,80	Depurado
4	16,37 - 17,23	16,70	No Depurado
5	16,37 - 17,23	17,50	Depurado
6	16,37 - 17,23	16,80	No Depurado
7	16,37 - 17,23	17,00	No Depurado
8	16,37 - 17,23	16,70	No Depurado
9	16,37 - 17,23	16,60	No Depurado
10	16,37 - 17,23	16,30	Depurado
11	16,37 - 17,23	16,80	No Depurado
12	16,37 - 17,23	17,30	Depurado
13	16,37 - 17,23	17,40	Depurado
14	16,37 - 17,23	16,90	No Depurado
15	16,37 - 17,23	17,00	No Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Fluencia que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.24

Tabla 4.24 Estabilidad promedio con datos No Depurados

N°	Datos No Depurados	Fluencia Promedio
1	16,500	
2	16,700	
3	-	16,60
4	16,700	
5	-	
6	16,800	16,75
7	17,000	
8	16,700	
9	16,600	16,77
10	-	
11	16,800	
12	-	16,80
13	-	
14	16,900	
15	17,000	16,95

Fuente: Elaboración Propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Fluencia y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Fluencias Finales.

Se observa los resultados finales de Fluencia a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.25

Tabla 4.25 Resultados finales de Fluencia– etapa: Transporte

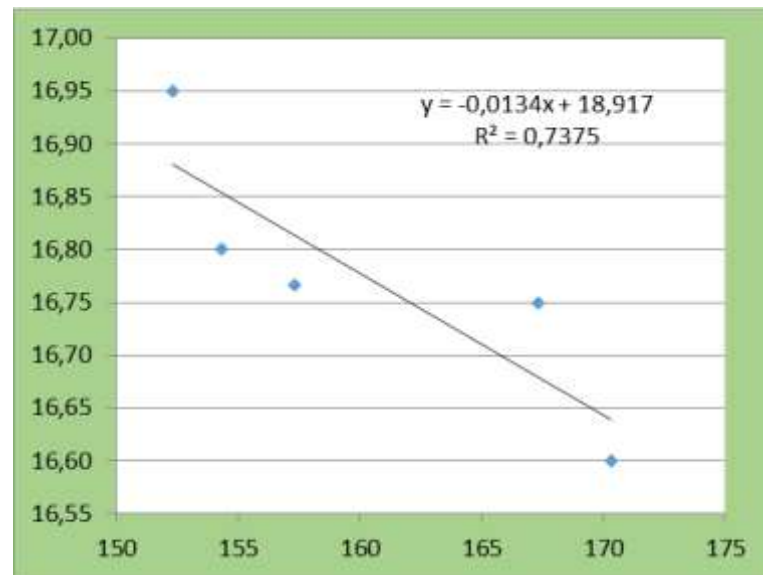
Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Fluencia (0,01 pulg)
170	16,60
167	16,75
157	16,77

154	16,80
152	16,95

Fuente: Elaboración Propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Fluencia vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la fluencia a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.5 Fluencia Vs. Temperatura de compactación en etapa: Transporte



Fuente: Elaboración Propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.5 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

El efecto de la temperatura en la fluencia después del transporte realizado, varía de 17,1 a 16,3 centésimas de pulgada siendo un incremento de la deformación de 0,8 centésimas de pulgada, lo que nos demuestra que es un factor menos incidente comparado con la estabilidad para la etapa de transporte de la mezcla.

En la etapa en que la mezcla es transportada a la plataforma del tramo de pavimentación se observa que la temperatura tiene tendencia a descender cuanto mayor sea la distancia de transporte, por lo que debe tomarse en cuenta la posición de la planta asfáltica con respecto a la ubicación del proyecto para que no existan problemas de este tipo cuando la mezcla llegue a plataforma.

4.3.2.3 DURANTE LA ETAPA DE COLOCADO EN PLATAFORMA

Tabla 4.26 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas - Etapa: Colocado en plataforma

N° de probeta		altura de probeta		% de Asfalto		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta			% de vacios			Estabilidad Marshall				Flujo		Temperatura de compactación	
				Del agregado	De la mezcla	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua		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/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%	libras		libras	libras		0,01 in		°C	°C	
1	6,5	5	5,3	1196	1197	661,7	535,3	2,234						65	2972,873	0,963	2862,877		17,00	0,0067		150	
2	6,6	5	5,3	1195	1196	669,2	526,8	2,268						61	2789,429	0,988	2755,956		18,20	0,0072		151	
3	6,6	5	5,3	1195	1197	657,7	539,3	2,216	2,240	2,407	6,974	14,70	52,56	60	2743,568	0,988	2710,645	2776,492	18,50	0,0073	17,90	150	150
4	6,7	5	5,3	1197	1198	655,1	542,9	2,205						65	2972,873	0,923	2743,962		17,80	0,0070		148	
5	6,4	5	5,3	1192	1194	659,9	534,1	2,232						63	2881,151	0,923	2659,302		17,70	0,0070		144	
6	6,5	5	5,3	1195	1197	668,6	528,4	2,262	2,233	2,407	7,256	15,00	51,63	66	3018,734	0,923	2786,291	2729,852	18,60	0,0073	18,03	145	146
7	6,3	5	5,3	1190	1191	652,6	538,4	2,210						62	2835,290	0,963	2730,384		18,50	0,0073		143	
8	6,6	5	5,3	1196	1197	660,4	536,6	2,229						65	2972,873	0,963	2862,877		18,90	0,0074		144	
9	6,5	5	5,3	1196	1197	656,6	540,4	2,213	2,217	2,407	7,891	15,60	49,41	58	2651,846	0,988	2620,024	2737,761	19,00	0,0075	18,80	144	144
10	6,7	5	5,3	1197	1198	658,4	539,6	2,218						62	2743,568	0,943	2587,184		19,20	0,0076		141	
11	6,4	5	5,3	1193	1194	654,6	539,4	2,212						65	2422,541	0,988	2393,470		18,20	0,0072		142	
12	6,3	5	5,3	1192	1194	656,7	537,3	2,218	2,216	2,407	7,943	15,60	49,08	58	2835,290	0,963	2730,384	2570,346	19,20	0,0076	18,87	143	142
13	6,6	5	5,3	1196	1197	658,7	538,3	2,222						60	2789,429	0,923	2574,643		19,50	0,0077		141	
14	6,5	5	5,3	1194	1196	650,6	545,4	2,189						53	2376,680	0,963	2288,743		19,70	0,0078		140	
15	6,6	5	5,3	1197	1198	662,5	535,5	2,235	2,215	2,407	7,974	15,6	48,89	62	2835,290	0,963	2730,384	2531,256	18,80	0,0074	19,33	140	140

Fuente: Elaboración propia

Para la etapa en que la mezcla es colocada en la plataforma del tramo de pavimentación se realizaron también cinco ensayos Marshall, es decir, quince briquetas elaboradas con mezcla convencional, a las diferentes temperaturas de compactación para esta etapa.

Para respaldar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el fin de analizar la confiabilidad de los valores de Estabilidad obtenidos.

4.3.2.3.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTABILIDAD

Con los resultados de Estabilidad del diseño Marshall de la tabla 4.26 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.27 Análisis Estadístico (Estabilidad)
Etapa: Colocado en plataforma

ANALISIS ESTADISTICO	
Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	2669,142
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	2730,384
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	158,960

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Estabilidad se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.28 Rangos de Estabilidad Etapa: Colocado en plataforma

$$\bar{X} - \sigma = 2510,182$$

$$\bar{X} + \sigma = 2828,101$$

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Estabilidad se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.29 Depuración de datos de Estabilidad - Etapa: Colocado en plataforma

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	2510,182 - 2828,101	2862,877	Depurado
2	2510,182 - 2828,101	2755,956	No Depurado
3	2510,182 - 2828,101	2710,645	No Depurado
4	2510,182 - 2828,101	2743,962	No Depurado
5	2510,182 - 2828,101	2659,302	No Depurado
6	2510,182 - 2828,101	2786,291	No Depurado
7	2510,182 - 2828,101	2730,384	No Depurado
8	2510,182 - 2828,101	2862,877	Depurado
9	2510,182 - 2828,101	2620,024	No Depurado
10	2510,182 - 2828,101	2587,184	No Depurado
11	2510,182 - 2828,101	2393,470	Depurado

12	2510,182 - 2828,101	2730,384	No Depurado
13	2510,182 - 2828,101	2574,643	No Depurado
14	2510,182 - 2828,101	2288,743	Depurado
15	2510,182 - 2828,101	2730,384	No Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.30

Tabla 4.30 Estabilidad promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	-	
2	2755,956	
3	2710,645	2733,300
4	2743,962	
5	2659,302	
6	2786,291	2729,852
7	2730,384	
8	-	
9	2620,024	2675,204
10	2587,184	
11	-	
12	2730,384	2658,784
13	2574,643	
14	-	
15	2730,384	2652,513

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Fluencia y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Fluencias Finales.

Se observa los resultados finales de Fluencia a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.31

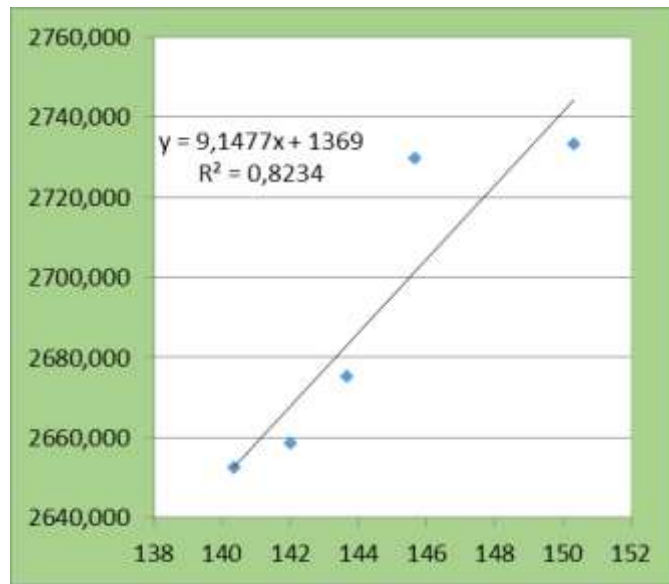
Tabla 4.31 Resultados finales de Estabilidad– etapa: Colocado en plataforma

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Estabilidad (lbs)
150	2733,300
146	2729,852
144	2675,204
142	2658,784
140	2652,513

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Estabilidad vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Estabilidad a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.6 Estabilidad Vs. Temperatura de compactación en etapa: Colocado en plataforma



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.5 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

En la gráfica una pérdida de temperatura de 150°C a 140°C afecta a la estabilidad en una pérdida de 225 lib.

El proceso de la mezcla asfáltica concluye en su colocado en plataforma, que a su vez tiene las fases de extendido, conformación y compactado, al tener varias fases y que estas requieran de tiempos adecuados, la temperatura de la mezcla es un factor delicado si analizamos que su disminución hará que las condiciones de esta sean desfavorables en su estabilidad como nos demuestra esta investigación.

Es importante que las fases sean desarrolladas con la mayor precisión posible desde el momento que la terminadora recibe la mezcla asfáltica en su tolva, ya que estará expuesta al aire del ambiente e influirá en la mezcla si las zonas del proyecto son de temperatura bajas.

La conformación y compactado que le da el acabado a la plataforma depende mucho de la temperatura de la mezcla, cuanto más baja esté mayores serán las complicaciones de una buena densificación y un buen acabado mostrando claramente las irregularidades superficiales

4.3.2.3.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LA FLUENCIA

Con los resultados de Fluencia del diseño Marshall de la tabla 4.26 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.32 Análisis Estadístico (Fluencia)
Etapa: Colocado en plataforma

$\text{Media} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	18,586
$\text{Mediana} = \frac{X_{n+1}}{2} =$	18,600
$\text{Desviación Estándar} =$ $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	0,726

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Fluencia se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.33 Rangos de Fluencia Etapa: Colocado en plataforma

$$\bar{X} - \sigma = 17,87$$

$$\bar{X} + \sigma = 19,32$$

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Fluencia se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.34 Depuración de datos de Fluencia - Etapa: Colocado en plataforma

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	17,87 - 19,33	17,00	Depurado
2	17,87 - 19,33	18,20	No Depurado
3	17,87 - 19,33	18,50	No Depurado
4	17,87 - 19,33	17,80	Depurado
5	17,87 - 19,33	17,70	Depurado
6	17,87 - 19,33	18,60	No Depurado
7	17,87 - 19,33	18,50	No Depurado
8	17,87 - 19,33	18,90	No Depurado
9	17,87 - 19,33	19,00	No Depurado
10	17,87 - 19,33	19,20	No Depurado

11	17,87 - 19,33	18,20	No Depurado
12	17,87 - 19,33	19,20	No Depurado
13	17,87 - 19,33	19,50	Depurado
14	17,87 - 19,33	19,70	Depurado
15	17,87 - 19,33	18,80	No Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Fluencia que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.35

Tabla 4.35 Fluencia promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Fluencia Promedio
1	-	
2	18,20	
3	18,50	18,35
4	-	
5	-	
6	18,60	18,60
7	18,50	
8	18,90	
9	19,00	18,80
10	19,20	
11	18,20	
12	19,20	18,87
13	-	
14	-	
15	18,80	18,80

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Fluencia y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Fluencias Finales.

Se observa los resultados finales de Fluencia a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.36

Tabla 4.36 Resultados finales de Fluencia – etapa: Colocado en plataforma

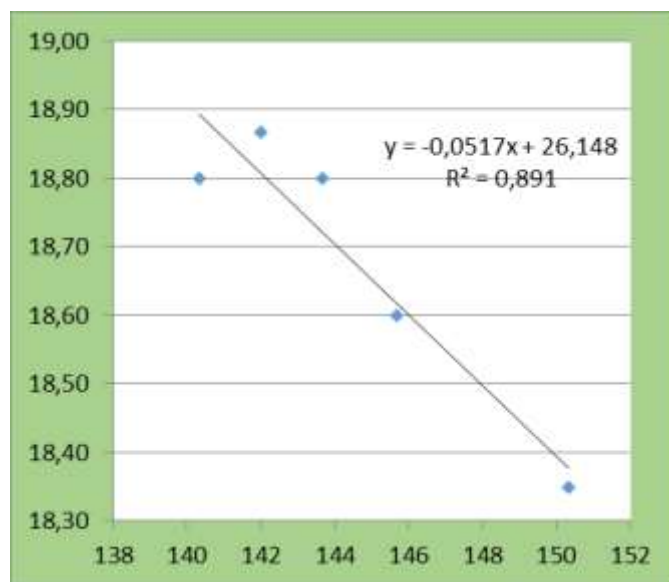
Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Fluencia (0,01 pulg)
150	18,35
146	18,60

144	18,80
142	18,87
140	18,80

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Fluencia vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Fluencia a medida que la temperatura de compactación decrece.

Gráfica 4.7 Fluencia Vs. Temperatura de compactación en etapa: Colocado en plataforma



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.7 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

Cuando la mezcla es extendida a la plataforma para luego ser compactada se observa que el rango de temperatura es de 150°C a 140°C, de acuerdo a las mediciones tomadas. Es muy

importante la temperatura de la mezcla porque las condiciones de terminado se dan en esta etapa.

En cuanto se refiere a la fluencia o deformación que se produce en esta etapa se puede apreciar por el análisis cualitativo que dentro del rango de temperaturas antes mencionado, la variación de la fluencia alcanza 1,4 lib. de incremento ante la disminución de la temperatura.

Los resultados de la investigación nos alertan a que se tome las precauciones necesarias para que en el proceso de compactado las temperaturas no bajen sustancialmente y se mantengan en un rango permisible


4.3.2.4 VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN

Tabla 4.37 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas – Valores máximos y mínimos de temperatura

N° de probeta		Altura de probeta		% de Asfalto		Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta			% de vacios			Estabilidad Marshall				Flujo			Temperatura de compactación	
				Del agregado	De la mezcla	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		
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%		libras		libras	libras		0,01in		°C	°C	
1	6,4	5	5,3	1195	1196	685,1	510,9	2,339						91	4165,259	0,988	4115,276		15,40	0,0061		175		
2	6,6	5	5,3	1196	1197	682,8	514,2	2,326						88	4027,676	0,943	3798,099		16,20	0,0064		175		
3	6,6	5	5,3	1196	1198	685,9	512,1	2,335	2,333	2,407	3,071	11,20	72,58	87	3981,815	0,943	3754,852	3889,409	16,00	0,0063	15,87	175	175	
4	6,5	5	5,3	1197	1198	669,8	528,2	2,266						85	3890,093	0,963	3746,160		17,00	0,0067		160		
5	6,4	5	5,3	1192	1193	668,6	524,4	2,273						80	3660,788	0,988	3616,859		15,90	0,0063		160		
6	6,7	5	5,3	1197	1198	672,4	525,6	2,277	2,272	2,407	5,615	13,50	58,41	78	3569,066	0,923	3294,248	3552,422	16,60	0,0065	16,50	160	160	
7	6,6	5	5,3	1196	1198	668,1	529,9	2,257						65	2972,873	0,943	2803,419		17,90	0,0070		150		
8	6,6	5	5,3	1195	1197	658,2	538,8	2,218						73	3339,761	0,943	3149,395		18,00	0,0071		150		
9	6,5	5	5,3	1197	1197	665,6	531,4	2,253	2,242	2,407	6,850	14,60	53,08	62	2835,290	0,963	2730,384	2894,399	16,50	0,0065	17,47	150	150	
10	6,6	5	5,3	1197	1198	665,4	532,6	2,247						63	2881,151	0,943	2716,925		18,80	0,0074		140		
11	6,7	5	5,3	1197	1198	656,6	541,4	2,211						58	2651,846	0,923	2447,654		17,80	0,0070		140		
12	6,7	5	5,3	1197	1198	652,6	545,4	2,195	2,218	2,407	7,880	15,60	49,49	62	2835,290	0,923	2616,973	2593,850	19,00	0,0075	18,53	140	140	
13	6,6	5	5,3	1196	1197	657,1	539,9	2,215						57	2605,985	0,943	2457,444		20,00	0,0079		130		
14	6,6	5	5,3	1197	1198	658,6	539,4	2,219						52	2376,680	0,943	2241,209		21,00	0,0083		130		
15	6,7	5	5,3	1197	1198	651,2	546,8	2,189	2,208	2,407	8,290	15,90	47,86	61	2789,429	0,923	2574,643	2424,432	20,50	0,0081	20,50	130	130	
16	6,4	5	5,3	1189	1191	652,4	538,6	2,208						55	2514,263	0,988	2484,092		21,00	0,0083		120		
17	6,6	5	5,3	1195	1197	647,7	549,3	2,175						58	2651,846	0,943	2500,691		22,40	0,0088		120		
18	6,7	5	5,3	1197	1198	647,0	551,0	2,172	2,185	2,407	9,232	16,80	45,05	50	2284,958	0,923	2109,016	2364,599	20,00	0,0079	21,13	120	120	

Fuente: Elaboración propia

Continuación de Tabla 4.37 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas – Valores máximos y mínimos de temperatura

		<p style="text-align: center;">DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL PROYECTO: CONSTRUCCION ASFALTADO CARRETERA CARAPARI - TRAMO CARAPARI - SAN ALBERTO MATERIAL: AGREGADO CHANCADO LAGUNITA EMPRESA: SOCIEDAD ACCIDENTAL BETA DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL</p>																					
		Laboratorio Suelos y Materiales					Material: Carpeta Asfáltica					Destino (Km.):					Nº Ensayo: 1						
FORM. CA- 069		Muestra Nº: 1					Estructura: Diseño					Fecha: 05/05/2015											
		Origen (Km.):					Peso (Km.):					Realizado: Carla Alejandra Nava Plantarrosa											
Peso Especifico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)										Peso Esp. Max. de Mezclas Compactadas (AASHTO T-209)					Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall (AASHTO T-245)					Temperatura de compactación			
Nº de probeta	altura de probeta	% de Asfalto		Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta			% de vacios			Estabilidad Marshall				Flujo			Temperatura	Temperatura promedio	
		Del agregado	De la mezcla	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/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%		libras		libras	libras		0,01in			
19	6,4	5	5,3	1195	1197	650,3	546,7	2,186						50	2284,958	0,988	2257,538		22,00	0,0087		110	
20	6,6	5	5,3	1197	1198	650,1	547,9	2,185						57	2605,985	0,943	2457,444		22,60	0,0089		110	
21	6,6	5	5,3	1197	1198	649,8	548,2	2,184	2,185	2,407	9,251	17,00	45,58	55	2514,263	0,943	2370,950	2361,977	21,50	0,0085	22,03	110	110
22	6,5	5	5,3	1197	1198	645,9	552,1	2,168						52	2376,680	0,963	2288,743		23,60	0,0093		100	
23	6,4	5	5,3	1193	1195	648,6	546,4	2,183						52	2376,680	0,988	2348,160		22,50	0,0089		100	
24	6,7	5	5,3	1196	1197	646,8	550,2	2,174	2,175	2,407	9,651	17,40	44,54	55	2514,263	0,923	2320,665	2319,189	22,80	0,0090	22,97	100	100

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el ensayo Marshall de la mezcla convencional en las diferentes etapas de su proceso de construcción, se realizó nuevamente este ensayo con valores máximos y mínimos de temperatura para observar cuanto se reduce la Estabilidad a temperaturas mínimas de compactación.

Para este punto se realizaron 8 ensayos Marshall, es decir, 24 briquetas elaboradas con mezcla convencional, a las temperaturas de: 175°C, 160°C, 150°C, 140°C, 130°C, 120°C, 110°C y 100°C.

Para respaldar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el fin de analizar la confiabilidad de los valores de Estabilidad obtenidos.

4.3.2.4.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTABILIDAD

Con los resultados de Estabilidad del diseño Marshall de la tabla 4.37 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.38 Análisis Estadístico (Estabilidad)

Etapas: Máximos y mínimos

$\text{Media} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	2800,035
$\text{Mediana} = \frac{X_{n+1}}{2} =$	2537,667
$\text{Desviación Estándar} =$ $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	596,160

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Estabilidad se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.39 Rangos de Estabilidad Etapa: Máximos y mínimos

$\bar{X} - \sigma$	=	2203,875
$\bar{X} + \sigma$	=	3396,195

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Estabilidad se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.40 Depuración de datos de Estabilidad - Etapa: Máximos y mínimos

Nº	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	2203,875 - 3396,195	4115,276	Depurado
2	2203,875 - 3396,195	3798,099	Depurado
3	2203,875 - 3396,195	3754,852	Depurado
4	2203,875 - 3396,195	3746,160	Depurado
5	2203,875 - 3396,195	3616,859	Depurado
6	2203,875 - 3396,195	3294,248	No Depurado
7	2203,875 - 3396,195	2803,419	No Depurado
8	2203,875 - 3396,195	3149,395	No Depurado
9	2203,875 - 3396,195	2730,384	No Depurado

10	2203,875 - 3396,195	2716,925	No Depurado
11	2203,875 - 3396,195	2447,654	No Depurado
12	2203,875 - 3396,195	2616,973	No Depurado
13	2203,875 - 3396,195	2457,444	No Depurado
14	2203,875 - 3396,195	2241,209	No Depurado
15	2203,875 - 3396,195	2574,643	No Depurado
16	2203,875 - 3396,195	2484,092	No Depurado
17	2203,875 - 3396,195	2500,691	No Depurado
18	2203,875 - 3396,195	2109,016	No Depurado
19	2203,875 - 3396,195	2257,538	No Depurado
20	2203,875 - 3396,195	2457,444	No Depurado
21	2203,875 - 3396,195	2370,950	No Depurado
22	2203,875 - 3396,195	2288,743	No Depurado
23	2203,875 - 3396,195	2348,160	No Depurado
24	2203,875 - 3396,195	2320,665	No Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.41

Tabla 4.41 Estabilidad promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	-	
2	-	
3	-	
4	-	
5	-	
6	3294,248	3294,248
7	2803,419	
8	3149,395	
9	2730,384	2894,399
10	2716,925	
11	2447,654	
12	2616,973	2593,850
13	2457,444	
14	2241,209	
15	2574,643	2424,432
16	2484,092	
17	2500,691	
18	2109,016	2364,599
19	2257,538	
20	2457,444	
21	2370,950	2361,977
22	2288,743	
23	2348,160	
24	2320,665	2319,189

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Estabilidad y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Estabilidades Finales.

Se observa los resultados finales de Estabilidad a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.42

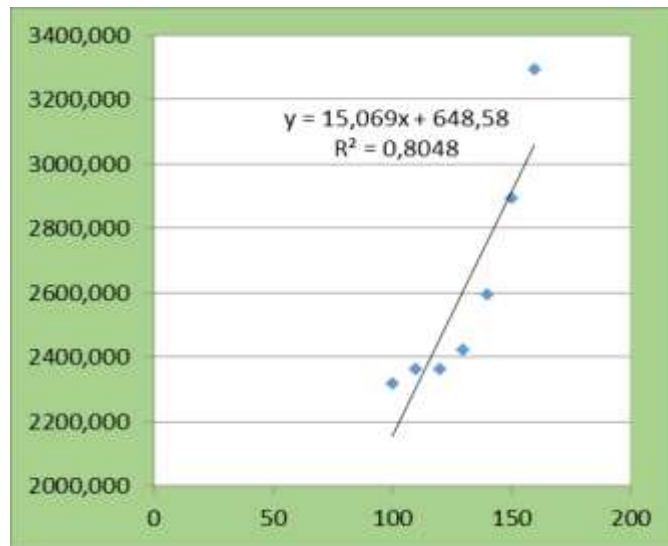
Tabla 4.42 Resultados finales de Estabilidad – etapa: Máximos y mínimos

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Estabilidad (lbs)
175	-
160	3294,248
150	2894,399
140	2593,850
130	2424,432
120	2364,599
110	2361,977
100	2319,189

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Estabilidad vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Estabilidad a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.8 Estabilidad Vs. Temperatura de compactación con valores máximos y mínimos de temperatura



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.8 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

De la gráfica 4.8 se demuestra con los resultados de estabilidad a diferentes temperaturas descendentes de 175°C a 100°C que la tendencia de la estabilidad es a bajar su valor 1570 lbs. Y esto nos demuestra cuanta influencia tiene la temperatura si se quiere obtener una mezcla asfáltica con alta capacidad resistente.

Considerando todo el rango de temperaturas de la investigación que fueron tomadas de la mezcla asfáltica en diferentes etapas de su proceso, como ser al salir de la planta, al concluir el transporte, conformación y compactado en plataforma que varían normalmente entre 140°C a 170°C, se realizó para fines investigativos el ensayo Marshall haciendo variar aún más la temperatura hasta alcanzar valores de 100°C, a fin de estudiar el comportamiento a temperaturas más bajas de las especificadas.

Es por esto que en el proceso constructivo de la mezcla asfáltica se tienen que tomar las condiciones más convenientes para no bajar la temperatura a los extremos, sobre todo en lugares cuyo clima es muy variable y se tengan temperaturas constantes.

4.3.2.4.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LA FLUENCIA

Con los resultados de Fluencia del diseño Marshall de la tabla 4.37 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.43 Análisis Estadístico (Fluencia)
Etapas: Máximos y mínimos

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	19,375
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	19,500
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	2,601

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Fluencia se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.44 Rangos de Estabilidad Etapas: Máximos y mínimos

$\bar{X} - \sigma$	=	16,77
$\bar{X} + \sigma$	=	21,98

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Fluencia se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.45 Depuración de datos de Fluencia - Etapa: Máximos y mínimos

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	16,74 - 21,87	15,40	Depurado
2	16,74 - 21,87	16,20	Depurado
3	16,74 - 21,87	16,00	Depurado
4	16,74 - 21,87	17,00	No Depurado
5	16,74 - 21,87	15,90	Depurado
6	16,74 - 21,87	16,60	Depurado
7	16,74 - 21,87	17,90	No Depurado
8	16,74 - 21,87	18,00	No Depurado
9	16,74 - 21,87	16,50	Depurado
10	16,74 - 21,87	18,80	No Depurado
11	16,74 - 21,87	17,80	No Depurado
12	16,74 - 21,87	19,00	No Depurado
13	16,74 - 21,87	20,00	No Depurado
14	16,74 - 21,87	21,00	No Depurado
15	16,74 - 21,87	20,50	No Depurado
16	16,74 - 21,87	21,00	No Depurado
17	16,74 - 21,87	22,40	Depurado

18	16,74 - 21,87	20,00	No Depurado
19	16,74 - 21,87	22,00	Depurado
20	16,74 - 21,87	22,60	Depurado
21	16,74 - 21,87	21,50	No Depurado
22	16,74 - 21,87	23,60	Depurado
23	16,74 - 21,87	22,50	Depurado
24	16,74 - 21,87	22,80	Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.46

Tabla 4.46 Fluencia promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Fluencia Promedio
1	-	
2	-	
3	-	
4	17,00	
5	-	
6	16,60	17,00
7	17,90	
8	18,00	
9	-	17,95
10	18,80	
11	17,80	
12	19,00	18,53
13	20,00	
14	21,00	
15	20,50	20,50
16	21,00	
17	-	
18	20,00	20,50
19	-	
20	-	
21	21,50	21,50
22	-	
23	-	
24	-	

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Estabilidad y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Estabilidades Finales.

Se observa los resultados finales de Estabilidad a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.47

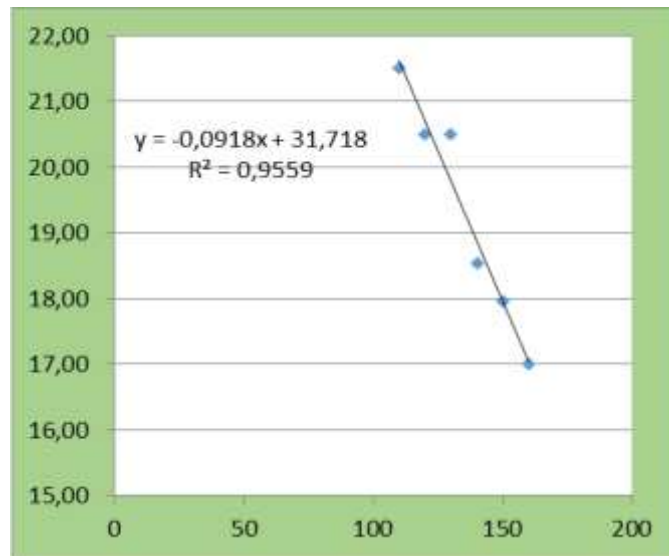
Tabla 4.47 Resultados finales de Fluencia – etapa: Máximos y mínimos

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Fluencia (0,01 pulg)
175	-
160	17,00
150	17,95
140	18,53
130	20,50
120	20,50
110	21,50
100	-

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Fluencia vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Fluencia a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.9 Fluencia Vs. Temperatura de compactación con valores máximos y mínimos de temperatura



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.9 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

De la gráfica 4.9 se demuestra que los resultados de fluencia a diferentes temperaturas descendentes de 170°C a 100°C la tendencia de la fluencia aumenta su valor a 7,1 centésimas de pulgada, eso muestra cuanta influencia tiene la temperatura al momento de obtener una mezcla asfáltica con alta capacidad de deformación.

De igual manera en la fluencia para fines investigativos se hizo variar aún más la temperatura hasta alcanzar valores de 100°C a fin de estudiar el comportamiento a temperaturas más bajas de las especificadas.

Con el análisis que se realizó se demostró que es importante tomar en cuenta las temperaturas cuando el tramo de pavimentación se encuentre en lugares cuyo clima es muy variable para no tener problemas de deformación del pavimento y que este pueda cumplir su vida útil.

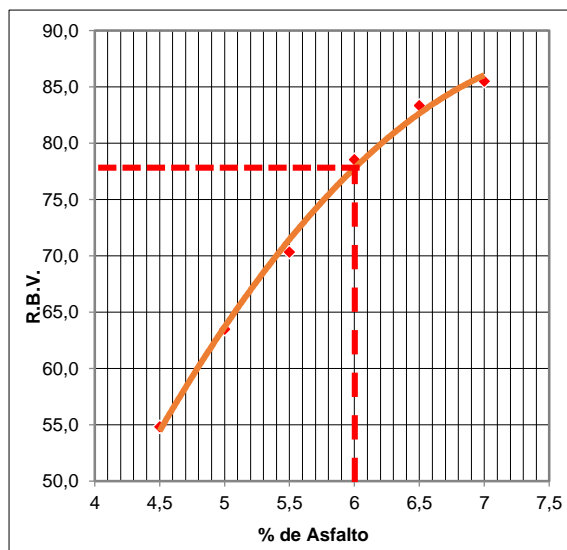
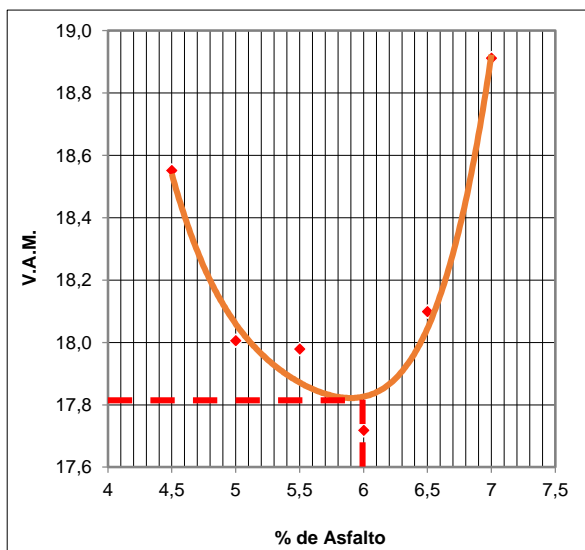
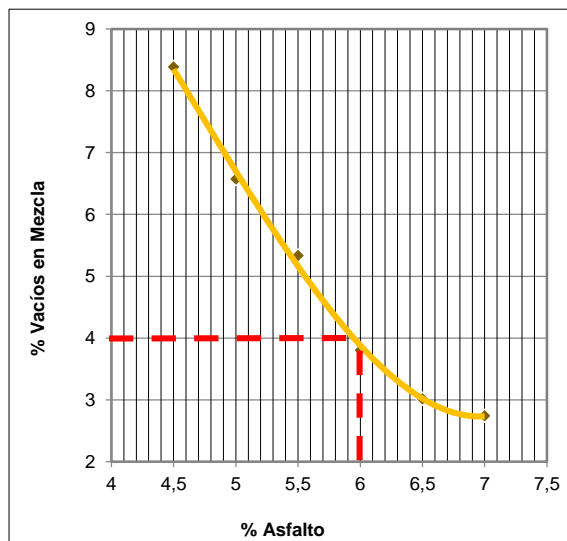
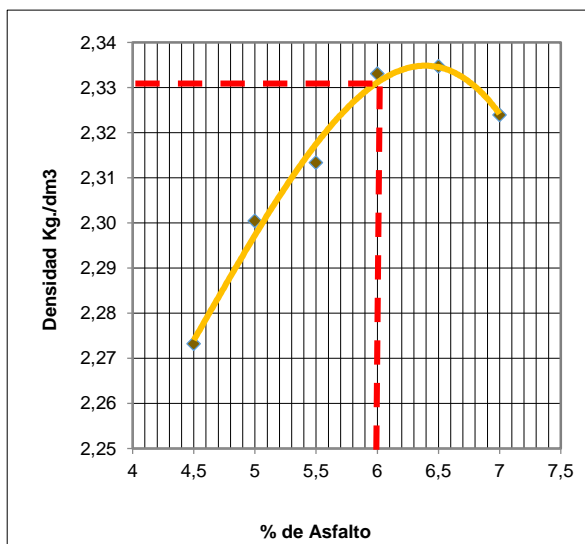
4.3.3 DISEÑO DE LA MEZCLA DE TRABAJO CON ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS

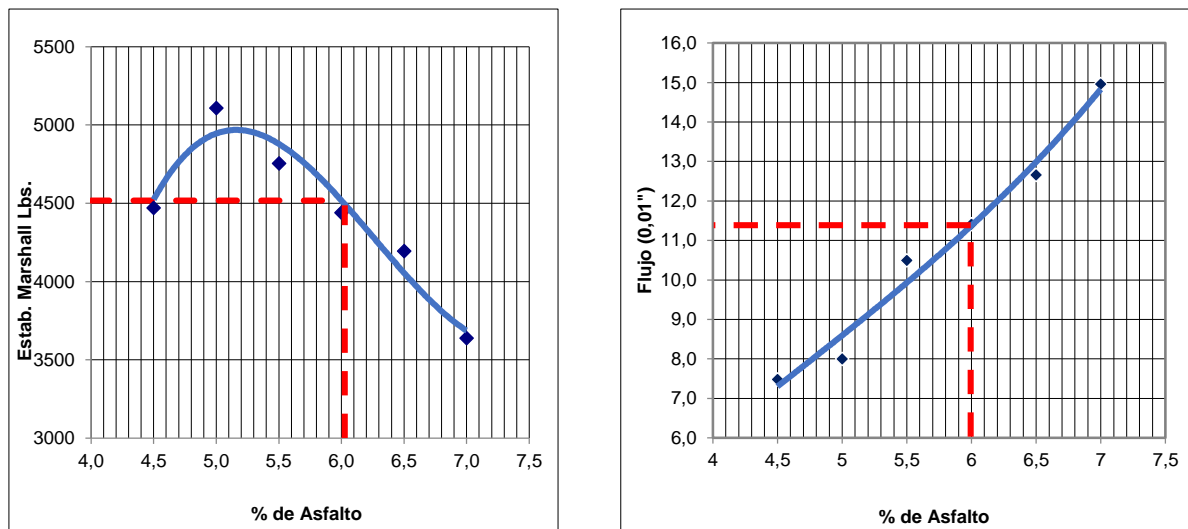
Tabla 4.48 Diseño Marshall de Mezcla Modificada con Polímero

ASOCIACIÓN ACCIDENTAL VIAL COPACABANA																				
DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL																				
PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL																				
Material: Carpeta Asfaltica				Destino (Km.): Carpeta Asfaltica				N° Ensayo: 1												
Muestra N°: 1				Estructura: Diseño				Fecha: 09/04/2015												
Origen (Km.): Chancadora Carolina				Pozo (Km.): Planta El Molino				Realizado: Carla Alejandra Nava Plantarrosa												
Peso Especifico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)							Peso Esp. Max. de Mezclas Compactadas (AASHTO T-209)					Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall (AASHTO T-245)								
N° Probeta	Altura de Probeta	% Asfalto		Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall				Flujo		
		Base mezcla	Base Agregado	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en Agua	Probeta	Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Máxima Teórica	% de Vacíos Mezcla Total	V.A.M. (Vacíos Agregados Mineral)	R.B.V. (Relación Betumen Vacíos)	LEC. DIAL.	Carga	Factor corrección	Carga Real Corregida	Carga Promedio	En 1/100 pulgadas	promedio
		[%]	[%]	[grs.]	[grs.]	[grs.]	[cc]	[grs./cm³]	[grs./cm³]	[grs./cm³]	[%]	[%]	[%]		[Libras]		[Libras]	[Libras]		1/100 plg
1	6,61	4,5	4,7	1191,6	1196,8	672,6	524,2	2,273						47	583,42	0,941	549,17279		0,067	
2	6,58	4,5	4,7	1189,0	1193,4	670,6	522,8	2,274						44	548,84	0,947	519,69265		0,071	
3	6,61	4,5	4,7	1191,0	1195,4	671,2	524,2	2,272	2,273	2,481	8,38	18,55	54,82	47	583,42	0,941	549,17279	539	0,087	7,48
4	6,50	5,0	5,3	1189,0	1192,2	671,4	520,8	2,283						52	635,05	0,963	611,24015		0,087	
5	6,45	5,0	5,3	1193,4	1194,4	679,4	515,0	2,317						52	640,77	0,975	624,75496		0,071	
6	6,48	5,0	5,3	1187,8	1189,6	673,4	516,2	2,301	2,300	2,462	6,57	18,00	63,51	50	617,87	0,968	597,79385	611	0,083	8,01
7	6,48	5,5	5,8	1194,6	1195,6	677,6	518,0	2,306						45	560,38	0,968	542,1658		0,098	
8	6,49	5,5	5,8	1187,4	1188,4	675,0	513,4	2,313						49	606,40	0,965	585,17974		0,102	
9	6,42	5,5	5,8	1188,4	1189,4	677,4	512,0	2,321	2,313	2,444	5,33	17,98	70,35	49	600,66	0,983	590,15151	572	0,114	10,50
10	6,42	6,0	6,4	1189,0	1189,6	679,4	510,2	2,330						43	531,50	0,983	522,19423		0,114	
11	6,40	6,0	6,4	1185,2	1186,0	677,0	509,0	2,328						45	560,38	0,988	553,37336		0,122	
12	6,36	6,0	6,4	1189,8	1190,2	681,8	508,4	2,340	2,333	2,425	3,80	17,72	78,54	43	537,28	0,998	535,93596	537	0,106	11,42
13	6,35	6,5	7,0	1187,6	1187,8	679,2	508,6	2,335						40	502,52	1,000	502,52205		0,142	
14	6,37	6,5	7,0	1191,0	1191,2	681,2	510,0	2,335						40	502,52	0,995	500,00944		0,120	
15	6,37	6,5	7,0	1181,8	1182,2	675,8	506,4	2,334	2,335	2,407	3,01	18,10	83,35	42	525,71	0,995	523,07947	509	0,118	12,66
16	6,35	7,0	7,5	1183,6	1183,8	674,8	509,0	2,325						35	444,30	1,000	444,30004		0,161	
17	6,38	7,0	7,5	1188,0	1188,2	677,6	510,6	2,327						35	444,30	0,993	440,96779		0,138	
18	6,39	7,0	7,5	1186,8	1187,0	675,4	511,6	2,320	2,324	2,389	2,74	18,91	85,51	35	444,30	0,990	439,85704	442	0,150	14,96

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.10 Diseño Marshall de Mezcla Modificada con Polímero





Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.49 Resumen de propiedades de Diseño Marshall

RESUMEN

Porcentaje Óptimo	6,0	%	Vacíos de Aire	3,9	%
Estabilidad	4518,2	lbs.	V.A.M.	17,8	%
Fluencia	11,4	0,01 "		77,8	%
Densidad	2,333	g/cm³	Rel. Betumen- Vacíos		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos del Marshall de la mezcla Modificada con polímero se considera que los parámetros de medición están dentro de lo aceptable para este tipo de mezclas:

- a) La estabilidad es de 4518,2 lbs mayor a la especificada de acuerdo a las normas de la AASTHO y adoptadas por la Administradora Boliviana de Carreteras que establece

que debe ser mayor a 2700 lbs, por lo que consideramos que tiene una estabilidad mucho mayor a la requerida por lo que su comportamiento ante las cargas del pavimento serán con mayor calidad.

- b) La fluencia o deformación de la mezcla asfáltica está en 11,4 centésimas de pulgada lo que es menor a la especificada de 15 para este tipo de mezclas esto nos garantiza que al ser puesto en servicio las cargas de tráfico no ejercerán deformaciones en el pavimento que afecten a su confort y seguridad.
- c) El porcentaje de vacíos de la mezcla es de 3,9% menor a la que se toma de diseño según especificaciones de 4% por lo que está dentro lo aceptable.
- d) La relación betúmen-vacíos es de 77,8% que está dentro de las especificaciones cuyo rango es de 70 – 85% esto nos garantiza que los vacíos están ocupados por cemento asfáltico y lograra la adhesión entre asfalto y partículas del esqueleto mineral de la mezcla con mayor consistencia.

4.3.3.1 DURANTE LA ETAPA DE SALIDA DE PLANTA

Tabla 4.50 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas - Etapa: Salida de la planta

ASOCIACIÓN ACCIDENTAL VIAL COPACABANA																																	
DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL																																	
PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL																																	
Material:						Carpeta Asfáltica						Destino (Km.):						Carpeta Asfáltica						N° Ensayo:					1				
Muestra N°:						1						Estructura:						Diseño						Fecha:					09/04/2015				
Origen (Km.):						Chancadora Carolina						Pozo (Km.):						Planta El Molino						Realizado:					Carla Alejandra Nava Plantarrosa				
Peso específico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)										Peso específico máximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)						Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall (AASHTO T-245)										Temperatura de compactación							
N° de probeta	Altura de probeta	% de asfalto		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta			% de vacíos			Estabilidad Marshall					Flujo			Temperatura	Temperatura promedio										
		Del agregado	De la mezcla	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua		Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección	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	0,01in					°C	°C								
1	6,4	6	6,4	1197	1198	682,8	515,2	2,323							104	7105,594	0,988	7020,327		11,00	0,0043		184										
2	6,45	6	6,4	1197	1197	679,3	517,7	2,312							125	8544,113	0,975	8330,510		11,30	0,0044		183										
3	6,5	6	6,4	1196	1197	683,5	513,5	2,329	2,322	2,425	4,277	18,1	76,372	115	7859,104	0,963	7568,317	7639,718	10,80	0,0043	11,03	184	184										
4	6,4	6	6,4	1184	1186	675,4	510,6	2,319						90	6146,582	0,988	6072,823		13,30	0,0052		183											
5	6,4	6	6,4	1190	1191	678,7	512,3	2,323						106	7242,596	0,988	7155,685		10,80	0,0043		183											
6	6,65	6	6,4	1196	1198	681,9	516,1	2,317	2,320	2,425	4,353	18,2	76,083	110	7516,600	0,934	7020,504	6749,671	10,50	0,0041	11,53	183	183										
7	6,4	6	6,4	1193	1194	678,8	515,2	2,316						98	7105,594	0,988	7020,327		11,30	0,0044		182											
8	6,6	6	6,4	1197	1198	680,6	517,4	2,313						100	6146,582	0,943	5796,227		13,10	0,0052		182											
9	6,4	6	6,4	1196	1197	681,6	515,4	2,321	2,317	2,425	4,483	18,3	75,503	95	7722,102	0,988	7629,437	6815,330	10,40	0,0041	11,60	182	182										
10	6,5	6	6,4	1195	1197	681,4	515,6	2,318						104	6694,589	0,963	6446,889		12,30	0,0048		181											
11	6,5	6	6,4	1189	1189	677,3	511,7	2,324						90	6831,591	0,963	6749,612		11,00	0,0043		181											
12	6,4	6	6,4	1195	1196	678,2	517,8	2,308	2,316	2,425	4,489	18,3	75,468	113	6489,086	0,988	6060,807	6419,103	13,00	0,0051	12,10	181	181										
13	6,55	6	6,4	1197	1198	680,1	517,9	2,311						105	7174,095	0,934	6700,605		13,00	0,0051		180											
14	6,4	6	6,4	1189	1191	679	512,0	2,322						96	6557,587	0,988	6478,896		12,50	0,0049		181											
15	6,5	6	6,4	1196	1197	677,6	519,4	2,303	2,312	2,425	4,668	18,4	74,632	90	6146,5820	0,963	5919,158	6366,220	11,80	0,0046	12,43	180	180										

Fuente: Elaboración propia

Para la mezcla asfáltica modificada con polímero se realizó el mismo procedimiento de la mezcla asfáltica convencional para obtener el análisis cuantitativo de cada etapa de la mezcla.

Para la etapa en que la mezcla sale de planta se realizaron cinco ensayos Marshall, es decir, quince briquetas elaboradas con mezcla convencional, a las diferentes temperaturas de compactación para esta etapa.

Para respaldar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el fin de analizar la confiabilidad de los valores de Estabilidad obtenidos.

4.3.3.1.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTABILIDAD

Con los resultados de Estabilidad del diseño Marshall de las tablas 4.50 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.51 Análisis Estadístico (Estabilidad)
Etapa: Salida de planta

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	6798,008
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	6749,612
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	706,690

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Estabilidad se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.52 Rangos de Estabilidad Etapa: Salida de planta

$$\bar{X} - \sigma = 6091,318$$

$$\bar{X} + \sigma = 7504,698$$

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Estabilidad se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.53 Depuración de datos de Estabilidad - Etapa: Salida de planta

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	6091,318 - 7504,698	7020,327	No Depurado
2	6091,318 - 7504,698	8330,510	Depurado
3	6091,318 - 7504,698	7568,317	Depurado
4	6091,318 - 7504,698	6072,823	Depurado
5	6091,318 - 7504,698	7155,685	No Depurado
6	6091,318 - 7504,698	7020,504	No Depurado
7	6091,318 - 7504,698	7020,327	No Depurado
8	6091,318 - 7504,698	5796,227	Depurado
9	6091,318 - 7504,698	7629,437	Depurado
10	6091,318 - 7504,698	6446,889	No Depurado

11	6091,318 - 7504,698	6749,612	No Depurado
12	6091,318 - 7504,698	6060,807	Depurado
13	6091,318 - 7504,698	6700,605	No Depurado
14	6091,318 - 7504,698	6478,896	No Depurado
15	6091,318 - 7504,698	5919,158	Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.54

Tabla 4.54 Estabilidad promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	7020,327	
2	-	
3	-	7020,327224
4	6072,823	
5	7155,685	
6	-	7088,094519
7	7020,327	
8	-	
9	-	7020,327224
10	6446,889	
11	6749,612	
12	-	6598,250504
13	6700,605	
14	6478,896	
15	-	6589,750603

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Estabilidad y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Estabilidades Finales.

Se observa los resultados finales de Estabilidad a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.55

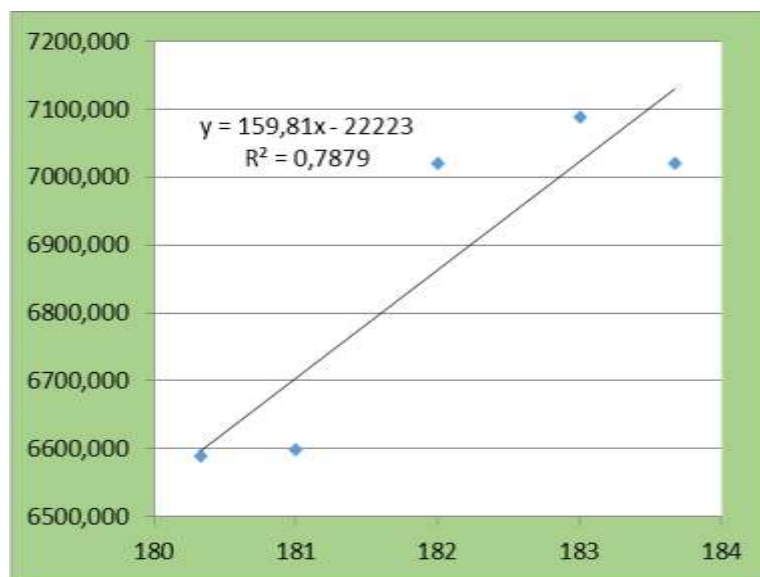
Tabla 4.55 Resultados finales de Estabilidad – etapa: Salida de planta

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Estabilidad (lbs)
184	7020,327
183	7088,095
182	7020,327
181	6598,251
180	6589,751

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Estabilidad vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Estabilidad a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.11 Estabilidad Vs. Temperatura de compactación – Etapa: Salida de planta



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.11 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

Cuando la mezcla sale de planta se observa un rango de temperaturas mayor que en la mezcla convencional, sin embargo una reducción de 185°C a 180°C no demuestra en la gráfica 4.11 una pérdida de estabilidad de 1273 lbs. que deben tomarse en cuenta considerando que existirán en el proceso más condiciones para reducción de la temperatura.

Los resultados de esta investigación muestran que la Estabilidad en una mezcla modificada con polímero tiene resultados más elevados que la mezcla convencional como indica la bibliografía, ya que esta es una de las propiedades que se mejora en este tipo de mezclas.

4.3.3.1.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LA FLUENCIA

Con los resultados de Fluencia del diseño Marshall de las tablas 4.50 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.56 Análisis Estadístico (Fluencia)
Etapa: Salida de planta

$\text{Media} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	11,74
$\text{Mediana} = \frac{X_{n+1}}{2} =$	11,30
$\text{Desviación Estándar} =$ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	1,033

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Fluencia se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.57 Rangos de Fluencia Etapa: Salida de planta

$\bar{X} - \sigma =$	10,71
$\bar{X} + \sigma =$	12,77

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Fluencia se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.58 Depuración de datos de Fluencia - Etapa: Salida de planta

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	10,71 - 12,77	11,00	No Depurado
2	10,71 - 12,77	11,30	No Depurado
3	10,71 - 12,77	10,80	No Depurado
4	10,71 - 12,77	13,30	Depurado
5	10,71 - 12,77	10,80	No Depurado
6	10,71 - 12,77	10,50	Depurado
7	10,71 - 12,77	11,30	No Depurado
8	10,71 - 12,77	13,10	Depurado
9	10,71 - 12,77	10,40	Depurado
10	10,71 - 12,77	12,30	No Depurado
11	10,71 - 12,77	11,00	No Depurado
12	10,71 - 12,77	13,00	Depurado
13	10,71 - 12,77	13,00	Depurado
14	10,71 - 12,77	12,50	No Depurado
15	10,71 - 12,77	11,80	No Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Fluencia que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.59

Tabla 4.59 Fluencia promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Fluencia Promedio
1	11,00	
2	11,30	
3	10,80	11,03
4	-	
5	10,80	
6	-	10,8
7	11,30	
8	-	
9	10,40	11,3
10	12,30	
11	11,00	
12	-	11,65
13	-	
14	12,50	
15	11,80	12,15

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Fluencia y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Fluencias Finales.

Se observa los resultados finales de Fluencia a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.60

Tabla 4.60 Resultados finales de Fluencia – etapa: Salida de planta

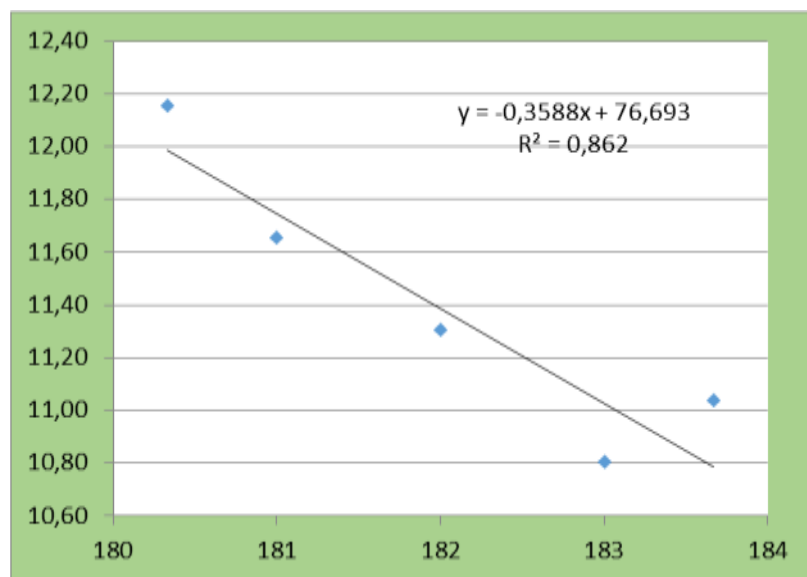
Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Fluencia (0,01 pulg)
184	11,03
183	10,80
182	11,30

181	11,65
180	12,15

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Fluencia vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Fluencia a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.12 Fluencia Vs. Temperatura de compactación – Etapa: Salida de planta



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.12 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

De la gráfica 4.12 se puede observar el comportamiento de la Fluencia en la etapa en que la mezcla sale de planta. Para una reducción de temperatura de 185°C a 180°C , se evidencia que existe un incremento de la fluencia de 1,12 centésimas de pulgada a medida que se pierden grados de temperatura, siendo esta condición desfavorable porque cuando mayor sea la fluencia podría generar mayor irregularidad superficial que influya en el confort y seguridad del pavimento para el usuario.

4.3.3.2 DURANTE LA ETAPA DE TRANSPORTE

Tabla 4.61 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas - Etapa: Transporte

ASOCIACIÓN ACCIDENTAL VIAL COPACABANA																							
DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL																							
PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL																							
Material: Carpeta Asfáltica						Destino (Km.): Carpeta Asfáltica						N° Ensayo: 1						Fecha: 10/04/2015					
Muestra N°: 1						Estructura: Diseño						Realizado: Carla Alejandra Nava Plantarrosa											
Origen (Km.): Chancadora Carolina						Pozo (Km.): Planta El Molino																	
Peso específico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)						Peso específico máximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)						Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall (AASHTO T-245)						Temperatura de compactación					
N° de probeta	altura de probeta	% de asfalto		Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta			% de vacíos			Estabilidad Marshall				Flujo			Temperatura	Temperatura	
		Del agregado	De la mezcla	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla tota	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección	Carga real corregida	Carga promedio	Lectura dial del flujo	Flujo real	Flujo promedio	Temperatura	Temperatura promedio
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/cm ³	Grs/cm ³	Grs/cm ³	%	%	%		libras		libras	libras	0,01in			°C	°C
1	6,5	6	6,4	1196	1197	682,8	514,2	2,326					95	6489,086	0,963	6248,990		13,60	0,0054		180		
2	6,4	6	6,4	1195	1196	679,3	516,7	2,313					120	8201,608	0,988	8103,189		11,50	0,0045		180		
3	6,55	6	6,4	1195	1195	683,5	511,5	2,336	2,325	2,425	4,135	14,70	71,87	100	6831,591	0,953	6510,506	6954,228	12,50	0,0049	12,53	181	180
4	6,5	6	6,4	1195	1196	679,4	516,6	2,313						104	7174,095	0,963	6908,654		14,00	0,0055		175	
5	6,4	6	6,4	1189	1191	675,7	515,3	2,307						88	5461,573	0,988	5396,034		14,20	0,0056		173	
6	6,5	6	6,4	1196	1198	678,9	519,1	2,304	2,308	2,425	4,827	15,30	68,45	93	6831,591	0,963	6578,822	6294,503	12,50	0,0049	13,57	167	172
7	6,7	6	6,4	1197	1198	679,8	518,2	2,310						105	7105,594	0,923	6558,464		12,10	0,0048		165	
8	6,6	6	6,4	1195	1197	674,7	522,3	2,288						80	6009,580	0,943	5667,034		14,20	0,0056		169	
9	6,4	6	6,4	1196	1197	676,3	520,7	2,297	2,298	2,425	5,237	15,70	66,65	100	6352,085	0,988	6275,860	6167,119	13,80	0,0054	13,37	165	166
10	6,5	6	6,4	1195	1197	669,1	527,9	2,264						87	5941,079	0,963	5721,259		11,50	0,0045		160	
11	6,5	6	6,4	1194	1195	672,8	522,2	2,286						68	4639,563	0,963	4467,899		14,00	0,0055		150	
12	6,5	6	6,4	1195	1197	677,2	519,8	2,299	2,283	2,425	5,864	16,20	63,80	75	5119,069	0,963	4827,282	5005,480	14,30	0,0056	13,27	157	156
13	6,6	6	6,4	1197	1198	670,4	527,6	2,269						65	4434,060	0,943	4181,319		13,80	0,0054		155	
14	6,65	6	6,4	1197	1198	677	521,0	2,298						75	5119,069	0,934	4781,210		13,40	0,0053		150	
15	6,5	6	6,4	1196	1197	668,1	528,9	2,261	2,276	2,425	6,160	16,50	62,66	67	4571,062	0,963	4401,932	4454,820	13,00	0,0051	13,40	150	152

Fuente: Elaboración propia

Para la mezcla asfáltica modificada con polímero se realizó el mismo procedimiento de la mezcla asfáltica convencional para obtener el análisis cuantitativo de cada etapa de la mezcla.

Para la etapa en que la mezcla es transportada desde la planta al tramo de pavimentación se realizaron cinco ensayos Marshall, es decir, quince briquetas elaboradas con mezcla convencional, a las diferentes temperaturas de compactación para esta etapa.

Para respaldar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el fin de analizar la confiabilidad de los valores de Estabilidad obtenidos.

4.3.3.2.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTABILIDAD

Con los resultados de Estabilidad del diseño Marshall de las tablas 4.62 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.62 Análisis Estadístico (Estabilidad)
Etapas: Transporte

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	5775,230
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	5721,259
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	1107,109

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Estabilidad se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.63 Rangos de Estabilidad Etapa: Transporte

$$\bar{X} - \sigma = 4668,121$$

$$\bar{X} + \sigma = 6882,340$$

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Estabilidad se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.64 Depuración de datos de Estabilidad - Etapa: Transporte

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	4668,121 - 6882,340	6248,990	No Depurado
2	4668,121 - 6882,340	8103,189	Depurado
3	4668,121 - 6882,340	6510,506	No Depurado
4	4668,121 - 6882,340	6908,654	No Depurado
5	4668,121 - 6882,340	5396,034	No Depurado
6	4668,121 - 6882,340	6578,822	No Depurado
7	4668,121 - 6882,340	6558,464	No Depurado
8	4668,121 - 6882,340	5667,034	No Depurado
9	4668,121 - 6882,340	6275,860	No Depurado
10	4668,121 - 6882,340	5721,259	No Depurado
11	4668,121 - 6882,340	4467,899	Depurado
12	4668,121 - 6882,340	4827,282	No Depurado
13	4668,121 - 6882,340	4181,319	Depurado
14	4668,121 - 6882,340	4781,210	No Depurado

15	4668,121 - 6882,340	4401,932	Depurado
----	---------------------	----------	----------

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.65

Tabla 4.65 Estabilidad promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	6248,990	
2	-	
3	6510,506	6379,748
4	6908,654	
5	5396,034	
6	6578,822	6294,503
7	6558,464	
8	5667,034	
9	6275,860	6167,119
10	5721,259	
11	-	
12	4827,282	5274,271
13	-	
14	4781,210	
15	-	4781,210

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Estabilidad y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Estabilidades Finales.

Se observa los resultados finales de Estabilidad a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.66

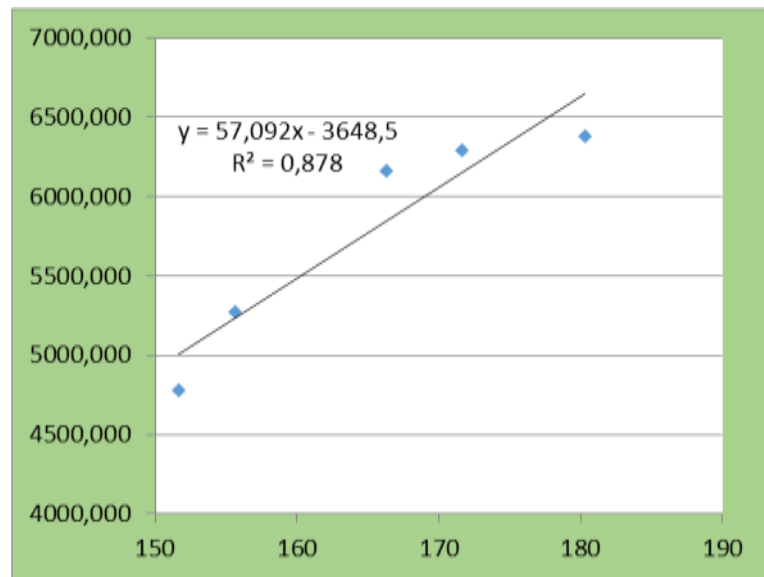
Tabla 4.66 Resultados finales de Estabilidad – etapa: Transporte

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Estabilidad (lbs)
180	6379,748
172	6294,503
166	6167,119
156	5274,271
152	4781,210

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Estabilidad vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Estabilidad a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.13 Estabilidad Vs. Temperatura de compactación – Etapa: Transporte



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.13 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

En la etapa en que la mezcla es transportada al tramo de pavimentación se observa en la gráfica 4.13 una reducción de 180°C a 150°C que incide en una pérdida de estabilidad de 1851 lbs. Y que deben tomarse en cuenta considerando que existirán en el proceso más condiciones para reducción de la temperatura.

En la mezcla modificada con polímero se observa que esta sale de planta a mayor temperatura que la mezcla convencional pero llega a plataforma con la misma temperatura de 150°C.

4.3.3.3.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LA FLUENCIA

Con los resultados de Fluencia del diseño Marshall de las tablas 4.62 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.67 Análisis Estadístico (Fluencia)
Etapa: Transporte

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	13,227
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	13,600
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	0,949

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Fluencia se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.68 Rangos de Fluencia Etapa: Transporte

$\bar{X} - \sigma$	=	12,13
$\bar{X} + \sigma$	=	14,02

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Fluencia se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.69 Depuración de datos de Fluencia - Etapa: Transporte

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	12,25 - 14,20	13,60	No Depurado
2	12,25 - 14,20	11,50	Depurado

3	12,25 - 14,20	12,50	No Depurado
4	12,25 - 14,20	14,00	No Depurado
5	12,25 - 14,20	14,20	No Depurado
6	12,25 - 14,20	12,50	No Depurado
7	12,25 - 14,20	12,10	Depurado
8	12,25 - 14,20	14,20	No Depurado
9	12,25 - 14,20	13,80	No Depurado
10	12,25 - 14,20	11,50	Depurado
11	12,25 - 14,20	14,00	No Depurado
12	12,25 - 14,20	14,30	Depurado
13	12,25 - 14,20	13,80	No Depurado
14	12,25 - 14,20	13,40	No Depurado
15	12,25 - 14,20	13,00	No Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Fluencia que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.70

Tabla 4.70 Fluencia promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Fluencia Promedio
1	13,60	
2	-	
3	12,50	13,05
4	14,00	
5	14,20	
6	12,50	13,57
7	-	
8	14,20	
9	13,80	14,00
10	11,50	
11	-	
12	14,30	14,00
13	-	
14	-	
15	-	

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Fluencia y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Fluencias Finales.

Se observa los resultados finales de Fluencia a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.71

Tabla 4.71 Resultados finales de Fluencia – etapa: Transporte

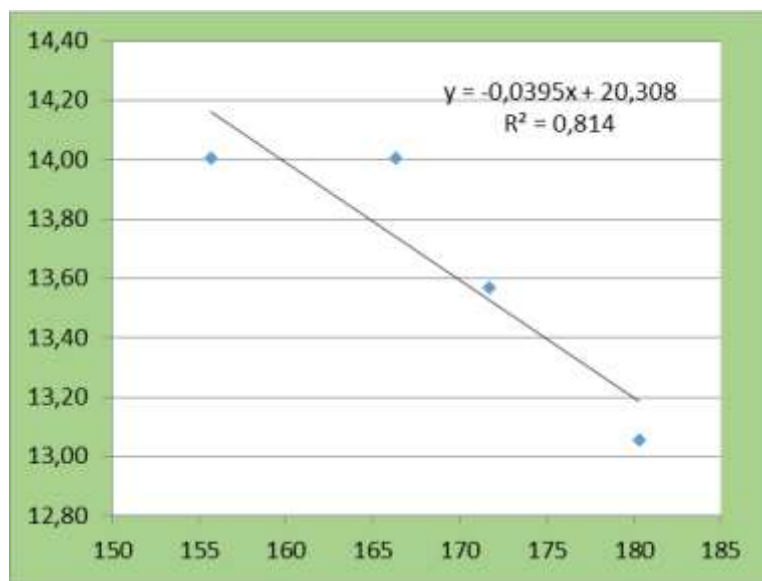
Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Fluencia (0,01 pulg)
180	13,05
172	13,57
166	14,00

156	14,00
152	-

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Fluencia vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Fluencia a medida que la temperatura de compactación decrece.

Gráfica 4.14 Fluencia Vs. Temperatura de compactación – Etapa: Transporte



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.14 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

En la gráfica 4.14 se observa para la mezcla modificada con polímero una disminución de temperatura de 180°C a 150°C que evidencia una deformación o fluencia de 0,9 centésimas de pulg. a medida que se pierden grados de temperatura y esta condición es desfavorable porque

cuando mayor es la fluencia podría generar mayor irregularidad superficial que influya en el confort y seguridad del pavimento para el usuario.

La etapa en que la mezcla es producida y sale de planta es la más crítica y depende en gran parte de la distancia de la planta al tramo de pavimentación, además del cuidado que se le da a la mezcla asfáltica en los volquetes, aunque la mezcla modificada con polímero tenga un amplio rango de temperatura en el manejo y almacenamiento

4.3.3.3 DURANTE LA ETAPA DE COLOCADO EN PLATAFORMA

Tabla 4.72 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas - Etapa: Colocado en plataforma

ASOCIACIÓN ACCIDENTAL VIAL COPACABANA																							
DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL																							
PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL																							
Material: Carpeta Asfáltica						Destino (Km.): Carpeta Asfáltica						N° Ensayo: 1						Fecha: 15/04/2015					
Muestra N°: 1						Estructura: Diseño						Realizado: Carla Alejandra Nava Plantarrosa											
Origen (Km.): Chancadora Carolina						Pozo (Km.): Planta El Molino																	
Peso específico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)									Peso específico máximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)				Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall (AASHTO T-245)									Temperatura de compactación	
N° de probeta	altura de probeta	% de asfalto		Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta			% de vacíos			Estabilidad Marshall				Flujo			Temperatura	Temperatura promedio	
		Del agregado	De la mezcla	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección	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	0,01in				
1	6,4	6	6,4	1195	1197	665,8	531,2	2,250						80	5530,074	0,988	5463,713		13,40	0,0053		150	
2	6,5	6	6,4	1194	1195	666,3	528,7	2,258						78	5256,071	0,963	5061,596		14,00	0,0055		150	
3	6,5	6	6,4	1195	1197	664,5	532,5	2,244	2,251	2,425	7,197	17,4	58,636	68	5119,069	0,963	4929,663	5151,657	12,60	0,0050	13,33	150	150
4	6,5	6	6,4	1195	1196	661,4	534,6	2,235						81	5461,573	0,963	5259,495		13,00	0,0051		146	
5	6,5	6	6,4	1196	1197	667,0	530,0	2,257						77	5324,571	0,963	5127,562		12,50	0,0049		148	
6	6,5	6	6,4	1196	1196	658,1	537,9	2,223	2,238	2,425	7,702	17,9	56,970	75	4639,563	0,963	4467,899	4951,652	13,80	0,0054	13,10	146	147
7	6,6	6	6,4	1197	1198	668,5	529,5	2,261						58	4091,556	0,943	3858,337		13,40	0,0053		145	
8	6,55	6	6,4	1195	1197	659,8	537,2	2,224						68	5050,568	0,953	4813,191		14,00	0,0055		145	
9	6,5	6	6,4	1196	1197	660,2	536,8	2,228	2,238	2,425	7,733	17,9	56,798	63	4639,563	0,963	4467,899	4379,809	14,30	0,0056	13,90	145	145
10	6,5	6	6,4	1196	1197	666,4	530,6	2,254						60	3954,554	0,963	3808,235		13,70	0,0054		145	
11	6,4	6	6,4	1189	1190	658,3	531,7	2,236						74	4639,563	0,988	4583,888		14,20	0,0056		144	
12	6,5	6	6,4	1195	1196	652,9	543,1	2,200	2,230	2,425	8,043	18,2	55,808	68	4297,058	0,963	4138,067	4176,730	14,50	0,0057	14,13	143	144
13	6,7	6	6,4	1197	1198	665,2	532,8	2,247						58	3954,554	0,923	3650,053		13,80	0,0054		140	
14	6,6	6	6,4	1197	1198	654,7	543,3	2,203						66	4502,561	0,943	4245,915		14,20	0,0056		140	
15	6,5	6	6,4	1196	1197	657,9	539,1	2,219	2,223	2,425	8,349	18,4	54,625	54	3680,550	0,963	3544,370	3813,446	14,50	0,0057	14,17	142	141

Fuente: Elaboración propia

Para la mezcla asfáltica modificada con polímero se realizó el mismo procedimiento de la mezcla asfáltica convencional para obtener el análisis cuantitativo de cada etapa de la mezcla.

Para la etapa en que la mezcla es colocada en plataforma se realizaron cinco ensayos Marshall, es decir, quince briquetas elaboradas con mezcla convencional, a las diferentes temperaturas de compactación para esta etapa.

Para respaldar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el fin de analizar la confiabilidad de los valores de Estabilidad obtenidos.

4.3.3.3.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTABILIDAD

Con los resultados de Estabilidad del diseño Marshall de las tablas 4.67 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.73 Análisis Estadístico (Estabilidad)
Etapa: Colocado en plataforma

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	4494,659
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	4467,899
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	611,067

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Estabilidad se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.74 Rangos de Estabilidad Etapa: Colocado en plataforma

$$\bar{X} - \sigma = 3968,449$$

$$\bar{X} + \sigma = 5169,022$$

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Estabilidad se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.75 Depuración de datos de Estabilidad - Etapa: Colocado en plataforma

Nº	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	3883,592 - 5105,725	5463,713	Depurado
2	3883,592 - 5105,725	5061,596	No Depurado
3	3883,592 - 5105,725	4929,663	No Depurado
4	3883,592 - 5105,725	5259,495	Depurado
5	3883,592 - 5105,725	5127,562	Depurado
6	3883,592 - 5105,725	4467,899	No Depurado
7	3883,592 - 5105,725	3858,337	Depurado
8	3883,592 - 5105,725	4813,191	No Depurado
9	3883,592 - 5105,725	4467,899	No Depurado
10	3883,592 - 5105,725	3808,235	Depurado
11	3883,592 - 5105,725	4583,888	No Depurado
12	3883,592 - 5105,725	4138,067	No Depurado
13	3883,592 - 5105,725	3650,053	Depurado
14	3883,592 - 5105,725	4245,915	No Depurado

15	3883,592 - 5105,725	3544,370	Depurado
-----------	---------------------	----------	----------

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.76

Tabla 4.76 Estabilidad promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	-	
2	5061,596	
3	4929,663	4995,630
4	-	
5	-	
6	4467,899	4467,899
7	-	
8	4813,191	
9	4467,899	4379,809
10	3808,235	
11	4583,888	
12	-	4360,977
13	-	
14	4245,915	
15	-	4245,915

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Estabilidad y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Estabilidades Finales.

Se observa los resultados finales de Estabilidad a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.77

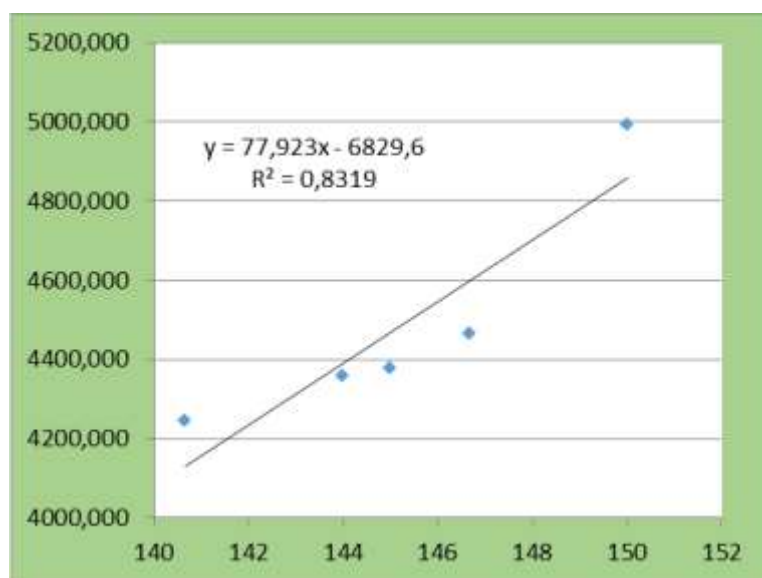
Tabla 4.77 Resultados finales de Estabilidad – etapa: Colocado en plataforma

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Estabilidad (lbs)
150	4995,630
147	4467,899
145	4379,809
144	4360,977
141	4245,915

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Estabilidad vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Estabilidad a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.15 Estabilidad Vs. Temperatura de compactación – Etapa: Colocado en plataforma



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.15 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

El proceso de la mezcla asfáltica modificada con polímero concluye en su colocado en plataforma y en la gráfica 4.15 se demuestra una disminución de temperatura de 150°C a 140°C que afecta a la estabilidad en una pérdida de 1338 lib.

Al igual que en la mezcla convencional la temperatura de la mezcla modificada al momento de ser extendida en plataforma es de 140°C y su verificación es importante para obtener una compactación eficiente y una densificación óptima del pavimento.

4.3.3.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LA FLUENCIA

Con los resultados de Fluencia del diseño Marshall de las tablas 4.67 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.78 Análisis Estadístico (Fluencia)

Etapas: Colocado en plataforma

$$\text{Media} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 13,727$$

Mediana = $\frac{X_{n+1}}{2} =$	13,800
--	--------

Desviación Estándar =

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}} = 0,635$$

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Fluencia se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.79 Rangos de Fluencia Etapa: Colocado en plataforma

$\bar{X} - \delta$	=	13,09
$\bar{X} + \delta$	=	14,36

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Fluencia se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.80 Depuración de datos de Fluencia - Etapa: Colocado en plataforma

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	13,09 - 14,36	13,40	No Depurado
2	13,09 - 14,37	14,00	No Depurado
3	13,09 - 14,38	12,60	Depurado
4	13,09 - 14,39	13,00	Depurado
5	13,09 - 14,40	12,50	Depurado
6	13,09 - 14,41	13,80	No Depurado
7	13,09 - 14,42	13,40	No Depurado
8	13,09 - 14,43	14,00	No Depurado
9	13,09 - 14,44	14,30	No Depurado
10	13,09 - 14,45	13,70	No Depurado
11	13,09 - 14,46	14,20	No Depurado
12	13,09 - 14,47	14,50	Depurado

13	13,09 - 14,48	13,80	No Depurado
14	13,09 - 14,49	14,20	No Depurado
15	13,09 - 14,50	14,50	Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Fluencia que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.76

Tabla 4.81 Fluencia promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Fluencia Promedio
1	13,40	
2	14,00	
3	-	13,7
4	-	
5	-	
6	13,80	13,8
7	13,40	
8	14,00	
9	14,30	13,9
10	13,70	
11	14,20	
12	-	13,95
13	13,80	
14	14,20	
15	-	14

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Fluencia y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Fluencias Finales.

Se observa los resultados finales de Fluencia a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.82

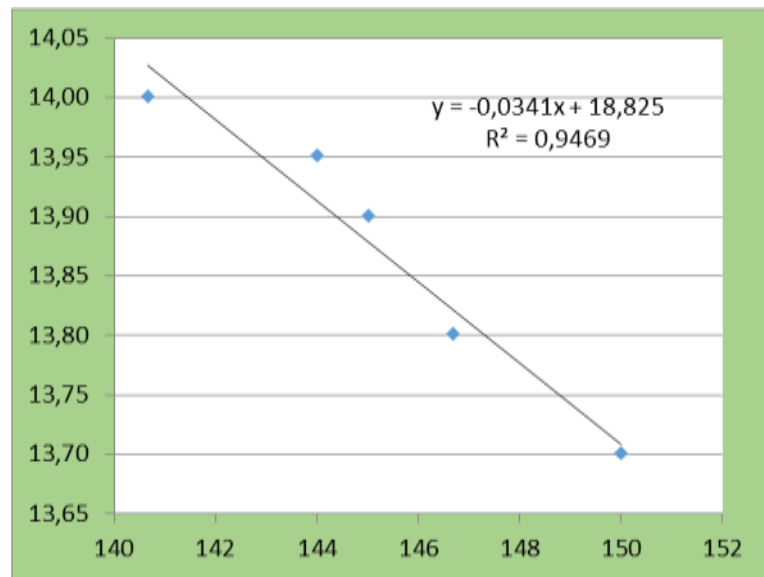
Tabla 4.83 Resultados finales de Fluencia – etapa: Colocado en plataforma

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Fluencia (0,01 pulg)
150	13,70
147	13,80
145	13,90
144	13,95
141	14,00

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Fluencia vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Fluencia a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.16 Fluencia Vs. Temperatura de compactación – Etapa: Colocado en plataforma



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.16 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

En la gráfica 4.16 se observa una disminución de la temperatura de 150°C a 140°C que incide en una pérdida de fluencia de 0,9 centésimas de pulgada, esta pérdida en la etapa de colocado en plataforma alerta a que se deben tomar las precauciones adecuadas para mantener la temperatura de la mezcla dentro de los rangos especificados y así obtener una compactación eficiente para que no se produzcan irregularidades en la plataforma.

4.3.3.4 VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN

Tabla 4.84 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas - Etapa: Máximos y mínimos de temperatura

ASOCIACIÓN ACCIDENTAL VIAL COPACABANA																							
DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL																							
PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL																							
Material: Carpeta Asfáltica						Destino (Km.): Carpeta Asfáltica						N° Ensayo: 1											
Muestra N°: 1						Estructura: Diseño						Fecha: 17/04/2015											
Origen (Km.): Chancadora Carolina						Pozo (Km.): Planta El Molino						Realizado: Carla Alejandra Nava Plantarrosa											
Peso específico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)						Peso específico máximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)						Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall (AASHTO T-245)						Temperatura de compactación					
N° de probeta	altura de probeta	% de asfalto		Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta			% de vacíos			Estabilidad Marshall				Flujo			Temperatura promedio		
		Del agregado	De la mezcla	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección	Carga real corregida	Carga promedio	Lectura dial del flujo	Flujo real		Flujo promedio	
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%		libras		libras	libras	0,01in				°C
1	6,5	6	6,4	1196	1197	682,2	514,8	2,3232						88	6009,580	0,963	5667,034		13,80	0,0054		180	
2	6,6	6	6,4	1196	1196	681,6	514,4	2,3250						105	7174,095	0,943	6621,690		12,90	0,0051		180	
3	6,65	6	6,4	1197	1198	681,8	516,2	2,3189	2,322	2,425	4,242	14,8	71,337	118	8064,607	0,934	7443,632	6577,452	12,00	0,0047	12,90	180	180
4	6,6	6	6,4	1195	1196	680,8	515,2	2,3195						82	5598,575	0,943	5391,428		14,20	0,0056		170	
5	6,7	6	6,4	1196	1197	676,4	520,6	2,2973						93	6352,085	0,923	5990,016		13,70	0,0054		170	
6	6,7	6	6,4	1197	1198	678,6	519,4	2,3046	2,307	2,425	4,871	15,4	68,373	115	7859,104	0,923	7340,403	6240,616	12,00	0,0047	13,30	170	170
7	6,4	6	6,4	1193	1195	672,8	522,2	2,2846						75	5119,069	0,988	5057,640		11,50	0,0045		160	
8	6,55	6	6,4	1195	1197	679,8	517,2	2,3105						100	6831,591	0,953	6510,506		14,00	0,0055		160	
9	6,7	6	6,4	1197	1198	680,2	517,8	2,3117	2,302	2,425	5,072	15,5	67,280	84	5735,577	0,923	5293,937	5620,694	14,30	0,0056	13,27	160	160
10	6,5	6	6,4	1196	1197	670,7	526,3	2,2725						77	5256,071	0,943	4956,475		14,40	0,0057		150	
11	6,6	6	6,4	1197	1198	672,4	525,6	2,2774						62	4228,557	0,943	3987,530		14,10	0,0056		150	
12	6,6	6	6,4	1196	1197	668,9	528,1	2,2647	2,272	2,425	6,339	16,7	62,043	83	5667,076	0,943	5344,053	4762,686	13,80	0,0054	14,10	150	150
13	6,7	6	6,4	1197	1198	668,2	529,8	2,2593						61	4160,056	0,923	3839,732		13,80	0,0054		140	
14	6,5	6	6,4	1194	1195	662,7	532,3	2,2431						53	3612,049	0,963	3478,404		14,20	0,0056		140	
15	6,5	6	6,4	1196	1197	659,1	537,9	2,2235	2,242	2,425	7,558	17,7	57,301	55	3749,051	0,963	3610,336	3642,824	14,50	0,0057	14,17	140	140

Fuente: Elaboración propia

Continuación Tabla 4.84 Ensayo Marshall a diferentes temperaturas – Valores máximos y mínimos de temperatura

N° de probeta		altura de probeta		ASOCIACIÓN ACCIDENTAL VIAL COPACABANA																											
				DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL																											
				PROYECTO: ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA Y MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL																											
		Material:					Carpeta Asfaltica					Destino (Km.):					Carpeta Asfaltica					N° Ensayo:					1				
		Muestra N°:					1					Estructura:					Diseño					Fecha:					17/04/2015				
		Origen (Km.):					Chancadora Carolina					Pozo (Km.):					Planta El Molino					Realizado:					Carla Alejandra Nava Plantarrosa				
Peso especifico bulk de mezclas bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)										Peso especifico maximo de Mezclas Compac. (AASHTO T-209)					Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall (AASHTO T-245)										Temperatura de compactación						
		% de asfalto		Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta		% de vacios					Estabilidad Marshall					Flujo											
		Del agregado	De la mezcla	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	Temperatura	Temperatura promedio								
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs/cm3	Grs/cm3	Grs/cm3	%	%	%		libras		libras	libras	0,01in			°C	°C								
16	6,7	6	6,4	1196	1197	656,2	540,8	2,212					55	2514,263	0,963	2370,950		14,80	0,0058		130										
17	6,6	6	6,4	1196	1198	652,5	545,5	2,192					60	2743,568	0,943	2532,313		15,50	0,0061		130										
18	6,7	6	6,4	1197	1198	661,0	537,0	2,229	2,211	2,425	8,834	18,9	53,26	58	2651,846	0,934	2447,654	2450,306	15,40	0,0061	15,23	130	130								
19	6,6	6	6,4	1195	1196	651,8	544,2	2,196					56	2560,124	0,943	2465,399		15,50	0,0061		120										
20	6,6	6	6,4	1196	1197	644,4	552,6	2,164					47	2147,375	0,923	2024,974		16,60	0,0065		120										
21	6,7	6	6,4	1197	1198	648,6	549,4	2,179	2,180	2,425	10,127	20	49,36	64	2927,012	0,923	2733,829	2408,068	15,90	0,0063	16,00	120	120								
22	6,7	6	6,4	1197	1198,0	648,6	549,4	2,179					54	2468,402	0,923	2327,703		16,50	0,0065		120										
23	6,7	6	6,4	1197	1199,0	648,6	550,4	2,175					59	2697,707	0,923	2489,983		17,00	0,0067		120										
24	6,7	6	6,4	1196	1197,0	648,6	548,4	2,181	2,178	2,425	10,190	20,1	49,31	55	2514,263	0,923	2320,665	2379,450	17,50	0,0069	17,00	120	120								

. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el ensayo Marshall de la mezcla modificada con polímero en las diferentes etapas de su proceso de construcción, se realizó nuevamente este ensayo con valores máximos y mínimos de temperatura para observar cuanto se reduce la Estabilidad a temperaturas mínimas de compactación.

Para este punto se realizaron 8 ensayos Marshall, es decir, 24 briquetas elaboradas con mezcla convencional, a las temperaturas de: 180°C, 170°C, 160°C, 150°C, 140°C, 130°C y 120°C.

Es importante aclarar que no se pudo seguir realizando el ensayo Marshall a temperaturas más bajas debido a que la trabajabilidad de la mezcla se reducía y no permitía la compactación y desmolde de las briquetas.

Es por esto que se realizó 2 veces el ensayo Marshall a la temperatura de 120°C para cumplir con el número total de ensayos.

Para respaldar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el fin de analizar la confiabilidad de los valores de Estabilidad obtenidos.

4.3.3.4.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTABILIDAD

Con los resultados de Estabilidad del diseño Marshall de las tablas 4.84 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.85 Análisis Estadístico (Estabilidad)
Etapa: Máximos y mínimos

$$\text{Media} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 4528,949$$

$$\text{Mediana} = \frac{X_{n+1}}{2} = 4956,475$$

$$\text{Desviación Estándar} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}} = 1732,528$$

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Estabilidad se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.86 Rangos de Estabilidad Etapa: Máximos y mínimos

$$\bar{X} - \sigma = 2796,422$$

$$\bar{X} + \sigma = 6261,477$$

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Estabilidad se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.87 Depuración de datos de Estabilidad - Etapa: Máximos y mínimos

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	2796,422 - 6261,477	5667,034	No Depurado
2	2796,422 - 6261,477	6621,690	Depurado
3	2796,422 - 6261,477	7443,632	Depurado
4	2796,422 - 6261,477	5391,428	No Depurado
5	2796,422 - 6261,477	5990,016	No Depurado
6	2796,422 - 6261,477	7340,403	Depurado

7	2796,422 - 6261,477	5057,640	No Depurado
8	2796,422 - 6261,477	6510,506	Depurado
9	2796,422 - 6261,477	5293,937	No Depurado
10	2796,422 - 6261,477	4956,475	No Depurado
11	2796,422 - 6261,477	3987,530	No Depurado
12	2796,422 - 6261,477	5344,053	No Depurado
13	2796,422 - 6261,477	3839,732	No Depurado
14	2796,422 - 6261,477	3478,404	No Depurado
15	2796,422 - 6261,477	3610,336	No Depurado
16	2796,422 - 6261,477	2370,950	Depurado
17	2796,422 - 6261,477	2532,313	Depurado
18	2796,422 - 6261,477	2447,654	Depurado
19	2796,422 - 6261,477	2465,399	Depurado
20	2796,422 - 6261,477	2024,974	Depurado
21	2796,422 - 6261,477	2733,829	Depurado
22	2796,422 - 6261,477	2327,703	Depurado
23	2796,422 - 6261,477	2489,983	Depurado
24	2796,422 - 6261,477	2320,665	Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Estabilidad que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.88

Tabla 4.89 Estabilidad promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Estabilidad Promedio
1	5667,034	
2	-	
3	-	5667,034173
4	5391,428	
5	5990,016	
6	-	5690,721757
7	5057,640	
8	-	
9	5293,937	5175,788635
10	4956,475	
11	3987,530	
12	5344,053	4762,685531
13	3839,732	
14	3478,404	
15	3610,336	3642,823967
16	-	
17	-	
18	-	
19	-	
20	-	
21	-	
22	-	
23	-	
24	-	

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Estabilidad y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Estabilidades Finales.

Se observa los resultados finales de Estabilidad a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.90

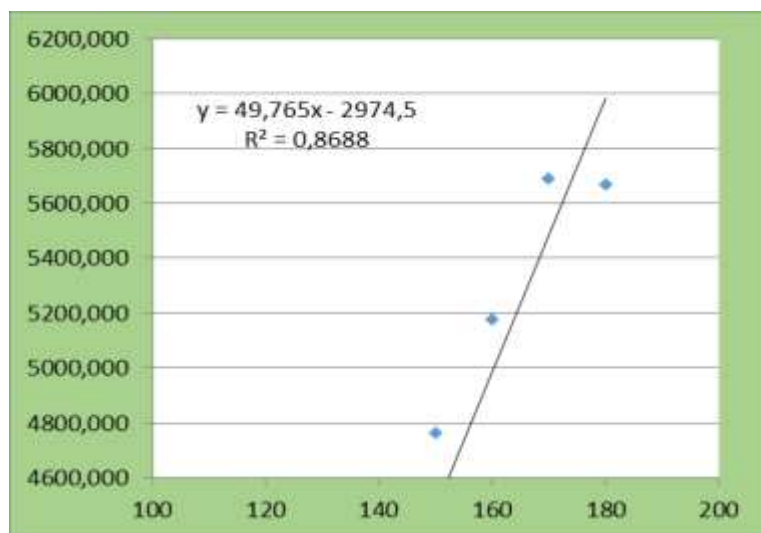
Tabla 4.91 Resultados finales de Estabilidad – etapa: Colocado en plataforma

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Estabilidad (lbs)
180	5667,034
170	5690,722
160	5175,789
150	4762,686
140	3642,824
130	-
120	-
120	-

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Estabilidad vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Estabilidad a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.17 Estabilidad Vs. Temperatura de compactación – Valores máximos y mínimos de temp. de compactación



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.16 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

Para realizar un análisis más profundo se realizó el mismo procedimiento para un rango de temperaturas desde 180°C a 120°C, es así que en la gráfica 4.17 se puede observar un perdida es Estabilidad de 2024,210 lbs.

Aún con mezcla asfáltica modificada con polímero se comprueba que la temperatura tiene influencia en las propiedades mecánicas de la mezcla y esta debe tomarse en cuenta y tomarse las previsiones para que la pérdida de temperatura sea la menor posible, ya que queda comprobado que la estabilidad tiende a bajar a medida que baja la temperatura y ocasiona que la mezcla no sea resistente a las cargas y sus deformaciones sean excesivas.

4.3.3.4.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LA FLUENCIA

Con los resultados de Fluencia del diseño Marshall de las tablas 4.84 se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de parámetros de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rangos), para obtener datos depurados y no depurados que demuestren la confiabilidad de estos.

Tabla 4.92 Análisis Estadístico (Estabilidad)
Etapa: Máximos y mínimos

Media= $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$	14,138
Mediana= $\frac{X_{n+1}}{2} =$	14,200
Desviación Estándar= $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 * f_i}{N}}$	1,291

Fuente: Elaboración propia

De igual manera para la Fluencia se debe realizar el cálculo de un rango para observar como los resultados tienden a extenderse alrededor de este.

Tabla 4.93 Rangos de Estabilidad Etapa: Máximos y mínimos

$\bar{X} - \sigma$	=	12,85
$\bar{X} + \sigma$	=	15,43

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rango en que se deben encontrar los resultados de Fluencia se procede a realizar una depuración de datos para observar la confiabilidad y la validez de estos.

Tabla 4.94 Depuración de datos de Fluencia - Etapa: Máximos y mínimos

N°	Rango	Datos originados	Datos depurados
1	12,85 - 15,43	13,80	No Depurado

2	12,85 - 15,43	12,90	No Depurado
3	12,85 - 15,43	12,00	Depurado
4	12,85 - 15,43	14,20	No Depurado
5	12,85 - 15,43	13,70	No Depurado
6	12,85 - 15,43	12,00	Depurado
7	12,85 - 15,43	11,50	Depurado
8	12,85 - 15,43	14,00	No Depurado
9	12,85 - 15,43	14,30	No Depurado
10	12,85 - 15,43	14,40	No Depurado
11	12,85 - 15,43	14,10	No Depurado
12	12,85 - 15,43	13,80	No Depurado
13	12,85 - 15,43	13,80	No Depurado
14	12,85 - 15,43	14,20	No Depurado
15	12,85 - 15,43	14,50	No Depurado
16	12,85 - 15,43	14,80	No Depurado
17	12,85 - 15,43	15,50	Depurado
18	12,85 - 15,43	15,40	Depurado
19	12,85 - 15,43	15,50	Depurado
20	12,85 - 15,43	16,60	Depurado
21	12,85 - 15,43	15,90	Depurado
22	12,85 - 15,43	16,50	Depurado
23	12,85 - 15,43	17,00	Depurado
24	12,85 - 15,43	17,50	Depurado

Fuente: Elaboración propia

Una vez depurados los datos de Fluencia que no se encuentren dentro del rango establecido, se realizó el promedio de cada Marshall solo con los datos no depurados para obtener los resultados finales como se muestra en la Tabla 4.95

Tabla 4.96 Fluencia promedio con datos No Depurados

Nº	Datos No Depurados	Fluencia Promedio
1	13,80	
2	12,90	
3	-	13,35
4	14,20	
5	13,70	
6	-	13,95
7	-	
8	14,00	
9	14,30	14,15
10	14,40	
11	14,10	
12	13,80	14,1
13	13,80	
14	14,20	
15	14,50	14,17
16	14,80	
17	-	
18	-	14,80
19	-	
20	-	
21	-	
22	-	
23	-	
24	17,50	

Fuente: Elaboración propia

Nota.- Las casillas con guion (-) corresponden a los valores depurados de Fluencia y no se toman en cuenta para realizar el promedio de Fluencias Finales.

Se observa los resultados finales de Fluencia a distintas temperaturas de compactación en la tabla 4.97

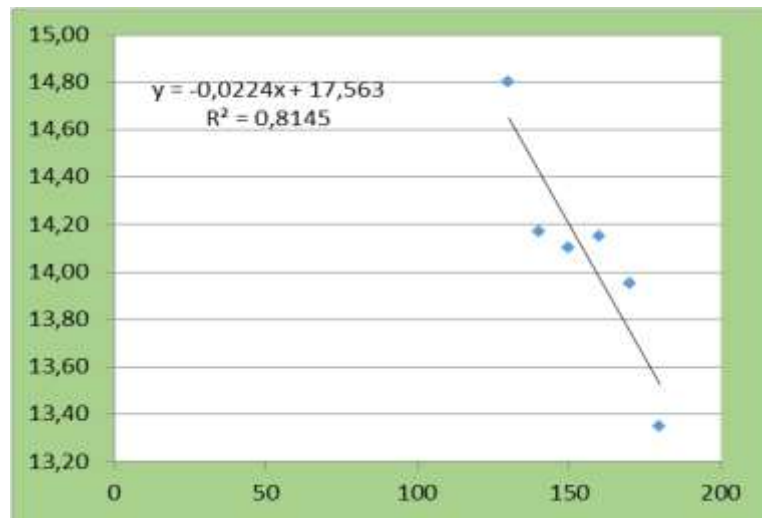
Tabla 4.98 Resultados finales de Fluencia – etapa: Máximos y mínimos

Resultados Finales	
Temperatura (°C)	Fluencia (0,01 pulg)
180	13,35
170	13,95
160	14,15
150	14,10
140	14,17
130	14,80
120	-

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados finales se realizó la gráfica: “Fluencia vs Temperatura de compactación”, para observar la línea de tendencia central de estos datos y ver gráficamente el comportamiento de la Fluencia a medida que la temperatura de compactación decrece.

Grafica 4.18 Fluencia Vs. Temperatura de compactación – Valores máximos y mínimos de temp. de compactación



Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia de la gráfica 4.18 obedece a una ecuación tipo lineal debido a que los datos aumentan a un ritmo constante, además que es la que más se ajusta y la regresión R^2 se acerca a 1.

Para realizar un análisis más profundo se realizó el mismo procedimiento para un rango de temperaturas desde 180°C a 120°C, es así que en la gráfica 4.18 se puede observar un pérdida es Fluencia de 1,45 centésimas de pulgada.

De igual manera en la mezcla modificada con polímero se demostró que la temperatura incide directamente en la fluencia de esta y es importante mantener el rango de temperaturas de cada etapa de la mezcla dentro del rango especificado para que el pavimento pueda cumplir con su vida útil y evitar deformaciones futuras en la superficie.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En el presente proyecto de investigación se han cumplido los objetivos planteados debido a que se ha demostrado que la temperatura de compactación es significativa e incide en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica y por lo tanto su estudio es importante para la duración de la misma.
- En la investigación se obtuvo rangos de temperaturas en las etapas en que la mezcla sale de planta, cuando es transportada al tramo de pavimentación y cuando esta es extendida en la plataforma del tramo de pavimentación.
- 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 de mezcla asfáltica modificada con polímero SBS.
- Se obtuvieron los siguientes resultados para ambas mezclas:

- Para una temperatura de compactación de 150°C en la mezcla asfáltica convencional se obtuvo una estabilidad de 2894,39 lb. Y un flujo de 14,47 (1/100 pulg)
 - Para la misma temperatura de compactación de 150°C en la mezcla modificada con polímero se obtuvo una estabilidad de 4762,69 lb. Y un flujo de 13,33 (1/100 pulg.)
 - Aunque el presente estudio de investigación no es un estudio comparativo de ambas mezclas se puede mencionar que la estabilidad Marshall de una mezcla modificada con polímero fue mayor en un 60,77 % que la mezcla convencional, por lo tanto la primera puede tener mayor capacidad de mantener su forma bajo las presiones a las cuales es sometida.
 - De igual forma se puede mencionar que el flujo en la mezcla modificada con polímero es menor en un 92,12 % (0,01 pulg)
- Con la investigación se concluyó que la temperatura incide notoriamente en la estabilidad de la mezcla, mientras la temperatura de compactación baja la estabilidad Marshall va disminuyendo.
 - Se demostró que compactando a menores temperaturas la fluencia va incrementando, por lo tanto la briqueta se va deformando cuando decrece la temperatura.
 - Se observó que la mezcla pierde mucha trabajabilidad cuando esta es compactada a una temperatura menor a 130 °C.
 - Las propiedades de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas, siguen las tendencias establecidas en la bibliografía, obedeciendo a un comportamiento en función únicamente del contenido de asfalto adicionado a la mezcla.

- Es importante mencionar que la caracterización del cemento asfáltico convencional y modificado, además de la caracterización del agregado pétreo son fundamentales, ya que su cumplimiento nos ofrece la garantía de que la mezcla tendrá buenas propiedades por el lado de los materiales del cual están compuesta la misma.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar varias mediciones de temperaturas durante las distintas etapas del proceso de la mezcla asfáltica para saber si estas se encuentran en el rango de temperaturas de cada etapa.
- Se recomienda estudiar de cerca las variaciones de temperatura en los proyectos viales de pavimentación, en zonas con notables cambios de temperatura.
- Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la caracterización del cemento asfáltico debido al costo de estos.
- 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.
- Es importante y se recomienda dar mantenimiento al equipo Marshall para compactación y la prensa Marshall, para obtener valores correctos.

- 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.

