



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
CIVIL**

**TESIS**

**“ESTUDIO COMPARATIVO DEL MÉTODO  
CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS  
EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS  
ASFÁLTICAS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

**BACH. INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRÉ  
BACH. VÁSQUEZ ALARCÓN DEYNIS HANZ**

**Pimentel, Noviembre de 2016**



“ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS  
EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS”

Autores: Carlos André Infante Ataurima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

## TÍTULO DE TESIS

“ESTUDIO COMPARATIVO DEL MÉTODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS  
POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS”

## APROBACIÓN DE LA TESIS

---

Ing. Zuloaga Cachay José Fortunato

**Asesor metodólogo**

---

Ing. Ruiz Saavedra Nepton David

**Asesor especialista**

---

Mg. Ing. Coronado Zulueta Omar

**Presidente del jurado de tesis**

---

Ing. Ballena Del Río Pedro Manuel

**Secretario del jurado de tesis**

---

Ing. Ruiz Saavedra Nepton David

**Vocal del jurado de tesis**



## DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida.

A mis queridos padres por el apoyo incondicional que me brindaron durante el desarrollo universitario, por sus consejos, recomendaciones y sobre todo por comprenderme las veces que les fallaba, al no dejar de creer mí.

A mi Tía Consuelo por apoyarme en ocasiones que acudía a ella, con sus palabras fortalecía más el sueño de poder concretarlo.

A mis hermanos por sus comentarios que me impulsaban cada día más a cumplir este objetivo.

A mí querida Sofía que me inspira cada paso que doy motivándome a continuar.

***Infante Ataurima Carlos André***

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida; por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres por ser las personas que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de mi vida.

A mis hermanas que me han brindado su apoyo incondicional compartiendo conmigo buenos y malos momentos y por último sin ser menos importante a mi hija y sobrina que alegran mi existir.

***Vásquez Alarcón Deynis Hanz***



## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a dios por protegernos durante todo nuestro camino y darnos fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda nuestra vida.

A nuestros padres quienes a lo largo de nuestra vida han apoyado y motivado nuestra formación Académica, creyeron en nosotros en todo momento y no dudaron de nuestras habilidades.

A nuestros profesores a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

Al Ing. Nepton David Ruiz Saavedra, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de nuestra tesis.

Agradeciendo también al asesor metodólogo Ing. José Fortunato Zuloaga Cachay, por su apoyo y guía incondicional para la elaboración de este informe.

Finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.



## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	
1.1 Situación problemática.....	22
1.1.1. A Nivel Internacional.....	22
1.1.2. A Nivel Nacional.....	28
1.1.3. A Nivel Local.....	30
1.2 Formulación del Problema.....	31
1.3 Delimitación de la Investigación.....	31
1.4 Justificación.....	31
1.4.1 Justificación Tecnológica.....	31
1.4.2 Justificación Social.....	31
1.4.3 Justificación Ambiental.....	31
1.5 Objetivos.....	32
1.5.1 Objetivo General.....	32
1.5.2 Objetivos Específicos.....	32
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO.</b>	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	34
2.1.1 A nivel Internacional.....	34
2.1.2 A nivel nacional.....	36
2.1.3 Estado del Arte.....	40
2.2 Bases Teórica.....	42
2.2.1 Asfalto.....	42
2.2.2.1 Composición del Asfalto.....	44
2.2.2.2 Características Reológicas del Asfalto.....	46
2.2.2.3 Producción del asfalto.....	46



2.2.2.4	Propiedades del asfalto .....	48
2.2.2.4.1	Adhesión y Cohesión.....	48
2.2.2.4.2	Durabilidad.....	48
2.2.2.4.3	Susceptibilidad al Endurecimiento y Envejecimiento .....	48
2.2.2.4.4	Susceptibilidad a la Temperatura. ....	48
2.2.1.5	Tipos de Asfaltos Utilizados para hacer Pavimentos.....	49
2.2.1.5.1	Cemento Asfaltico (AC). ....	49
2.2.1.5.2	Asfaltos Líquidos. ....	50
2.2.1.5.3	Asfaltos de curado rápido .....	50
2.2.1.5.4	Asfaltos de curado medio.....	50
2.2.1.5.5	Asfaltos de curado lento. ....	50
2.2.1.5.6	Road oil .....	51
2.2.1.5.7	Asfaltos Emulsificados.....	51
2.2.2	POLIMEROS.....	52
2.2.2.1	Tipos de polímeros .....	53
2.2.2.1.1	Polímeros Termoplásticos.....	53
2.2.2.1.1.1	EVA. ....	53
2.2.2.1.2	Polímeros Termo endurecibles.....	54
2.2.2.1.3	Elastómeros o cauchos.....	54
2.2.2.2	Propiedades de los polímeros.....	55
2.2.2.2.1	Bajo peso específico.....	55
2.2.2.2.2	Propiedades mecánicas.....	55
2.2.2.2.3	Influencia de la temperatura.....	55
2.2.2.2.4	Durabilidad.....	56
2.2.2.3	Especificaciones Técnicas del Polímero EVA.....	56
2.2.2.3.1	Etileno – vinil- acetato (EVA).....	56
	Introducción .....	56
	Estructura química y síntesis .....	57
	Propiedades y características.....	59
2.2.2.3.2	Especificaciones Técnicas del Polímero SBS .....	62
	Estructura química y síntesis .....	62
	Propiedades.....	62
2.2.3	Asfaltos Modificados.....	64
2.2.3.1	Mecanismo de la modificación .....	68
2.2.3.1.1	Bajo contenido de polímero (inferior al 4%). ....	68



2.2.3.1.2	Contenido del polímero elevado (superior al 7%).....	68
2.2.3.1.3	Contenido del polímero del 5%, aproximadamente.....	69
2.2.3.2	Modificación de asfaltos con elastómeros termoplásticos.....	69
2.2.4	Diseño de mezclas asfálticas en caliente (*).....	71
2.2.4.1	Introducción.....	71
2.2.4.2	Características y comportamiento de la mezcla.....	72
2.2.4.2.1	DENSIDAD.....	72
2.2.4.2.2	VACIOS DE AIRE (o simplemente vacíos).....	73
2.2.4.2.3	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL.....	74
2.2.4.2.4	CONTENIDO DE ASFALTO.....	75
2.2.4.3	PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS.....	77
2.2.4.3.1	ESTABILIDAD.....	77
2.2.4.3.2	DURABILIDAD.....	79
2.2.4.3.3	IMPERMEABILIDAD.....	80
2.2.4.3.4	TRABAJABILIDAD.....	81
2.2.4.3.5	FLEXIBILIDAD.....	83
2.2.4.3.6	RESISTENCIA A LA FATIGA.....	83
2.2.4.3.7	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.....	84
2.2.4.4	METODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS- DESCRIPCION.....	85
2.2.4.4.1	PREPARACION PARA EFECTUAR LOS PROCEDIMIENTOS MARSHALL.....	85
2.2.4.4.2	Procedimiento de ensayo Marshall.....	89
2.2.5	Normas Técnica.....	92
2.2.5.1	Normatividad aplicado a los agregados.....	94
2.2.5.1.1	Normatividad aplicada para asfaltos modificados.....	94
	Viscosidad ASTM D 2171(Viscosidad de asfalto por viscosímetro capilar de vacíos) ...	95
	Penetración ASTM D 5 (Penetración de materiales bituminosos).....	95
	Punto de inflamación ASTM D 92 (Punto de inflamación para materiales bituminosos) .....	95
	Prueba de película delgada en horno (TFO) ASTM D 1754 (Efectos de calor y aire en materiales asfálticos) y Prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO) ASTM D 2872 (Efectos de calor y aire en una película en movimiento de asfalto).....	96
	Ductilidad ASTM D 113 (Ductilidad de materiales bituminosos).....	96
	Solubilidad ASTM D 2042 (Solubilidad de asfaltos en tricloroetileno).....	97
	Peso específico ASTM D 70 (Densidad de materiales bituminosos semisólidos.....	97
	Punto de ablandamiento ASTM 3695 (Anillo y bola).....	98



Resiliencia ASTM D – 3407 (Método de prueba estándar para selladores de juntas, concreto y pavimentos asfálticos) .....98
Recuperación elástica por ductilómetro ASTM D 6084. ....98

2.2.6 Definición de términos básicos.....98

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación.....102
3.1.1. Tipo de investigación. ....102
3.1.2. Diseño de la investigación .....102
3.2 Población y muestra. ....102
3.3 Hipótesis.....102
3.4 Variables.....103
3.5 Operacionalización de variables .....104
3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos .....105
3.6.1 Método de Investigación .....105
3.6.2 Técnicas de La Investigación .....105
3.7 Procedimiento de recolección de Datos.....107
3.7.2 Descripción del Procedimientos. ....109
3.7.2.1 Recolección de la Información Disponible .....109
3.7.2.2 Estudio de Agregados Pétreos .....109
3.7.2.3 Estudio de asfaltos.....109
3.7.2.4 Desarrollo de la modificación de la mezcla asfáltica con polímeros EVA y SBS. 110
3.7.2.5 Prueba de Laboratorio y Ensayos a Realizarse .....110
3.7.2.5.1 Análisis Granulométrico (Basado en ASTM C 136-01). .....110
113
3.7.2.5.2 Peso específico y absorción de los agregados finos empleando la Norma ASTM C 128 (AASHTO T 84). ....113
3.7.2.5.3 Peso específico y absorción de los agregados gruesos empleando la Norma ASTM C 127 (AASHTO T 85). ....118
3.7.2.5.4 Determinación del valor “Equivalente de arena” de suelos y agregados finos aplicando la Norma ASTM D 2419 .....121
3.7.2.5.5 Ensayo de Determinación de la Resistencia a la Abrasión del Agregado Grueso de Tamaño Pequeño Usando la máquina de los Ángeles para los materiales Pétreos de la cantera La Pluma empleando la Norma AASHTO T 96 (ASTM C 131). ....124
3.7.2.5.6 Ensayo determinación límite plástico para los materiales pétreos de la cantera La Pluma empleando la Norma ASTM D 4313. ....127
3.7.2.5.7 Ensayo determinación del límite líquido para los materiales pétreos de la cantera La Pluma empleando la Norma AASHTO T 89.....130





3.7.2.5.8	Partículas planas, partículas alargadas, ó partículas planas y alargadas en agregado grueso.....	133
3.7.2.6	ASFALTO .....	135
3.7.2.6.1	Índice de penetración de cementos asfálticos. ....	135
3.7.3	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICAS EN CALIENTE CONVENCIONAL.....	138
3.7.3.1	Método Marshall del diseño de mezcla .....	138
3.7.3.2	Gravedad Especifica Bulk del Agregado (Gsb).....	138
3.7.3.3	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado (Gse).....	139
3.7.3.4	Gravedad Específica Máxima (Gmm).....	139
3.7.3.5	Absorción de asfalto (Pba).....	140
3.7.3.6	Contenido efectivo de asfalto (Pbe) .....	140
3.7.3.7	Vacíos de Agregado Mineral (VAM).....	140
3.7.3.8	Vacíos de aire (Va) .....	141
3.7.3.9	Vacíos llenados con asfalto (VFA) .....	141
3.7.3.10	Dosificación del asfalto .....	141
3.7.3.11	Preparación de las briquetas de ensayo. ....	143
3.7.3.11.1.	PASOS PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS:.....	145
3.7.3.11.2.	Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall Briqueta de 1200 gr. ....	149
3.7.4	Determinación del porcentaje óptimo para una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS. ....	151
3.7.4.1	Procedimiento de modificación del asfalto. ....	151
3.7.4.2	Determinación del porcentaje óptimo para una mezcla asfáltica modificada con polímero EVA.....	152
3.7.4.2.1	Procedimiento de modificación al asfalto:.....	152
3.8	Criterio Éticos .....	153
3.9	Criterios de Rigor Científico .....	153
<b>CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS</b>		
4.1	Resultados en tablas y gráficos.....	155
4.1.1	Ensayos a los Agregados:.....	155
4.1.1.1	Análisis Granulométrico: .....	155
4.1.1.1.1	Interpretación: .....	156
4.1.1.2	Desgaste los Ángeles. ....	156
4.1.1.2.1	Cálculos y resultados:.....	156
4.1.1.2.2	Interpretación: .....	157
4.1.1.3	Equivalente de arena. ....	158
4.1.1.3.1	Cálculos y resultados:.....	158



4.1.1.3.2	Interpretación: .....	158
4.1.1.4	Partículas fracturadas mecánicamente.....	159
4.1.1.4.1	Cálculos y resultados:.....	159
4.1.1.4.2	Interpretación: .....	159
4.1.1.5	Partículas planas y alargadas. ....	160
4.1.1.5.1	Cálculos y resultados:.....	160
4.1.1.5.2	Interpretación: .....	160
4.1.1.6	Peso Específico y Absorción de agregado grueso. ....	161
4.1.1.6.1	Cálculos y resultados:.....	161
4.1.1.6.2	Interpretación: .....	161
4.1.1.7	Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad. ....	162
4.1.1.7.1	Cálculos y resultados:.....	162
4.1.1.7.2	Interpretación: .....	162
4.1.2	Ensayos al Asfalto: .....	163
4.1.2.1	Penetración de materiales bituminosos: .....	163
4.1.2.1.1	Cálculos y Resultados: .....	163
4.1.2.1.2	Interpretación: .....	164
4.1.3	Cuadro Resumen de Resultados obtenidos en ensayos a los agregados y al asfalto: 164	
4.1.4	Diseño de la Mezcla Asfáltica Convencional: .....	165
4.1.4.1	Dosificación de Agregados:.....	165
4.1.4.2	Diseño de la Mezcla: .....	165
4.1.4.3	Elaboración de Briquetas:.....	166
4.1.4.4	Asfalto Convencional: .....	166
4.1.4.4.1	Proporciones de agregados para cada porcentaje de Asfalto: .....	166
4.1.4.4.2	Vacíos:.....	166
4.1.4.4.3	Densidad Bulk:.....	166
4.1.4.4.4	Gravedad Específica Máxima Teórica:.....	173
4.1.4.4.5	Cálculo de Vacíos:.....	174
4.1.4.4.6	Desgaste en la Máquina de los Ángeles (Seco):.....	176
4.1.4.5	Resultados Diseño Marshall-Tránsito Liviano. ....	178
4.1.4.5.1	Interpretación: .....	179
4.1.4.6	Resumen de resultados diseño Marshall Tránsito Liviano: .....	180
4.1.4.6.1	Interpretación .....	181
4.1.4.7	Resultados Marshall –Tránsito Pesado .....	182



4.1.4.7.1	Interpretación: .....	183
4.1.4.8	Resumen de resultados diseño Marshall Tránsito Pesado:.....	183
4.1.4.8.1	Interpretación .....	184
4.1.5	ASFALTO MOFIFICADO CON POLIMERO EVA: .....	185
4.1.5.1	Proporciones de agregados para cada porcentaje de polímero.....	185
4.1.5.2	Vacíos: .....	187
4.1.5.3	Densidad Bulk: .....	187
4.1.5.4	Gravedad Específica Máxima Teórica: .....	192
4.1.5.5	Cálculo de Vacíos: .....	194
4.1.5.6	Desgaste en la Máquina de los Ángeles (Seco):.....	195
4.1.5.7	Resultados Diseño Marshall (Polímero 4% EVA – Tránsito liviano).....	197
4.1.5.7.1	Interpretación: .....	198
4.1.5.8	Resumen de resultados diseño Marshall Polímero EVA Tránsito Liviano: .....	199
4.1.5.8.1	Interpretación. ....	200
4.1.5.9	Resultados Diseño Marshall (Polímero 3% EVA – Tránsito Pesado).....	201
4.1.5.9.1	Interpretación: .....	202
4.1.5.10	Resumen de resultados diseño Marshall Polímero EVA Tránsito Pesado: .....	203
4.1.5.10.1	Interpretación. ....	204
4.1.5.11	Desgaste en la Máquina de los Ángeles Polímero EVA (Seco): .....	205
4.1.5.11.1	Interpretación. ....	205
4.1.6	ASFALTO MOFIFICADO CON POLIMERO SBS TRANSITO: .....	206
4.1.6.1	Proporciones de agregados para cada porcentaje de polímero: .....	206
4.1.6.2	Vacíos: .....	208
4.1.6.3	Densidad Bulk: .....	208
4.1.6.4	Gravedad Específica Máxima Teórica: .....	213
4.1.6.5	Cálculo de vacíos: .....	214
4.1.6.6	Desgaste en la Máquina de los Ángeles POLIMERO SBS (Seco): .....	216
	.....	216
4.1.6.7	Resultados Diseño Marshall (Polímero 5% SBS – Tránsito liviano). ....	217
4.1.6.7.1	Interpretación: .....	218
4.1.6.8	Resumen de resultados diseño Marshall POLIMERO SBS-Tránsito Liviano:.....	219
4.1.6.8.1	Interpretación. ....	220
4.1.7	Resultados Diseño Marshall (Polímero 4% SBS – Tránsito Pesado). ....	221
4.1.7.1	Interpretación:.....	222
4.1.7.2	Resumen de resultados diseño Marshall POLIMERO SBS-Tránsito PESADO: .....	223



4.1.7.2.1	Interpretación. ....	224
4.1.7.3	Desgaste en la Máquina de los Ángeles POLIMERO SBS (Seco): .....	225
4.2	Discusión de resultados.....	226
4.2.1	Resultados Diseño Marshall (Convencional – Transito liviano).....	226
4.2.1.1	Discusión: .....	228
4.2.2	Resultados Diseño Marshall (Convencional – Tránsito Pesado).....	229
4.2.2.1	Discusión: .....	231
4.2.3	Resultados Diseño Marshall (Polímero EVA – Transito liviano). ....	232
4.2.3.1	Discusión: .....	233
4.2.4	Resultados Diseño Marshall (Polímero EVA – Tránsito Pesado) .....	234
4.2.4.1	Discusión: .....	235
4.2.5	Resultados Diseño Marshall (Polímero SBS – Transito liviano). ....	236
4.2.5.1	Discusión: .....	237
4.2.6	Resultados Diseño Marshall (Polímero SBS – Tránsito Pesado). ....	238
4.2.6.1	Discusión: .....	239

## **CAPITULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

5.1	Propuesta del Proyecto. ....	241
5.1.1	Presupuesto en un Pavimento en Lambayeque.....	242
5.1.1.1	Pavimento Convencional. ....	242
5.1.1.2	Pavimento Modificado Con Polímero SBS. ....	245
5.1.1.3	Pavimento Modificado con Polímero EVA. ....	248

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1	Conclusiones: .....	252
6.2	Recomendaciones: .....	256
6.3	Referencias Bibliográficas.....	258



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> <i>Indices de competitividad.</i> .....	25
<b>Figura N° 2:</b> <i>Escala de indice de competitividad en infraestructura 2013-2014.</i> .....	26
<b>Figura N° 3:</b> <i>Infraestructura de transporte 2013-2014.</i> .....	27
<b>Figura N° 4:</b> <i>Escala de indice de competitividad de infraestructura 2013-2014.</i> .....	27
<b>Figura N° 1:</b> <i>Escala de índice de competitividad en infraestructuras 2013-2014.</i> .....	28
<b>Figura N° 6:</b> <i>Comportamiento reológico de los asfaltos modificados con SBS.</i> .....	38
<b>Figura N° 7:</b> <i>Modelaje de elementos finitos Universidad Tecnica de Delft- Holanda.</i> .....	42
<b>Figura N° 8:</b> <i>Esquema de la constitución química del asfalto.</i> .....	44
<b>Figura N° 9:</b> <i>Esquema coloidal del Pfeiffer.</i> .....	45
<b>Figura N° 10:</b> <i>Proceso de refinación del Petróleo para obtención del Asfalto.</i> .....	47
<b>Figura N° 11:</b> <i>Indice de susceptibilidad Térmica mediante el Nomograma de Heukelom</i>	49
<b>Figura N° 12:</b> <i>Composición Química del Polímero Eva</i> .....	57
<b>Figura N° 13:</b> <i>Comparación Asfalto Modificado y Sin Modificar.</i> .....	66
<b>Figura N° 14:</b> <i>Ilustración del VMA en una probeta de Mezcla Compactada.</i> .....	74
<b>Figura N° 15:</b> <i>Vacíos en el Agregado Mineral (Requerimiento de VMA). (El Volumen de asfalto absorbido no es mostrado)</i> .....	75
<b>Figura N° 16:</b> <i>Realizando el tamizado de agregados</i> .....	114
<b>Figura N° 17:</b> <i>Cuarteo del agregado Fino</i> .....	115
<b>Figura N° 18:</b> <i>Saturación de la muestra</i> .....	116
<b>Figura N° 19:</b> <i>Muestra para el proceso de Secado</i> .....	116
<b>Figura N° 20:</b> <i>Muestra en el picnómetro</i> .....	117
<b>Figura N° 21:</b> <i>Peso del Picnómetro</i> .....	117
<b>Figura N° 22:</b> <i>Cuarteo del Material</i> .....	120
<b>Figura N° 23:</b> <i>Muestra Saturada.</i> .....	120
<b>Figura N° 24:</b> <i>Peso de canastilla sumergida.</i> .....	121
<b>Figura N° 25:</b> <i>Equipos para la realización del ensayo</i> .....	123
<b>Figura N° 26:</b> <i>Muestra inserta en la Probeta.</i> .....	124
<b>Figura N° 27:</b> <i>Muestra lista para ser ingresada en las 2 probetas siguientes.</i> .....	124
<b>Figura N° 28:</b> <i>Ubicación altura según específica la norma.</i> .....	125
<b>Figura N° 29:</b> <i>Muestra tamizada y lavada.</i> .....	126
<b>Figura N° 30:</b> <i>Secado del agregado grueso en el horno a T° 110</i> .....	127
<b>Figura N° 31:</b> <i>Muestra tamizada y lavada</i> .....	128
<b>Figura N° 32:</b> <i>Muestra hecha barritas Cilíndricas.</i> .....	130
<b>Figura N° 33:</b> <i>Copa Casagrande.</i> .....	132
<b>Figura N° 34:</b> <i>Ranurado de la muestra</i> .....	133
<b>Figura N° 35:</b> <i>Procedimiento de medición</i> .....	136
<b>Figura N° 36:</b> <i>Penetración</i> .....	138
<b>Figura N° 37:</b> <i>Mezclado de los agregados mas asfalto</i> .....	146



<b>Figura N° 38:</b> <i>Muestra en el molde.</i> .....	147
<b>Figura N° 39:</b> <i>Aplicación de los golpes a la briqueta.</i> .....	148
<b>Figura N° 40:</b> <i>Extracción de la briqueta.</i> .....	149
<b>Figura N° 41:</b> <i>Peso de la briqueta.</i> .....	150
<b>Figura N° 42:</b> <i>Briqueta en la Maquina Marsall</i> .....	151
<b>Figura N° 43:</b> <i>Briquetas después de pasar en Maquina Marshall.</i> .....	151
<b>Figura N° 44:</b> <i>Briqueta con asfalto modificado en Maquina Marsall</i> .....	153
<b>Figura N° 45:</b> <i>Curva Granulométrica obtenida del ensayo de análisis granulométrico.</i> 165	
<b>Figura N° 46:</b> <i>% de Asfalto Óptimo Liviano.</i> .....	188
<b>Figura N° 47:</b> <i>% de Asfalto vs Estabilidad Liviano.</i> .....	188
<b>Figura N° 48:</b> <i>% de Asfalto vs flujo Liviano.</i> .....	188
<b>Figura N° 49:</b> <i>% de Asfalto Óptimo Pesado.</i> .....	191
<b>Figura N° 50:</b> <i>% de Asfalto vs Estabilidad Pesado.</i> .....	191
<b>Figura N° 51:</b> <i>% Asfalto vs Flujo Pesado</i> .....	191
<b>Figura N° 52:</b> <i>% de EVA Óptimo Liviano.</i> .....	208
<b>Figura N° 53:</b> <i>% de EVA vs Estabilidad Liviano.</i> .....	208
<b>Figura N° 54:</b> <i>% de EVA vs flujo Liviano.</i> .....	208
<b>Figura N° 56:</b> <i>% de EVA vs Estabilidad Pesado.</i> .....	212
<b>Figura N° 57:</b> <i>% de EVA Óptimo Pesado.</i> .....	212
<b>Figura N° 58:</b> <i>% de EVA vs flujo Pesado.</i> .....	212
<b>Figura N° 59:</b> <i>% de SBS Óptimo Liviano.</i> .....	228
<b>Figura N° 60:</b> <i>% de SBS vs Estabilidad Liviano.</i> .....	228
<b>Figura N° 61:</b> <i>% de SBS vs flujo Liviano.</i> .....	228
<b>Figura N° 62:</b> <i>% de SBS vs Estabilidad Pesado.</i> .....	232
<b>Figura N° 63:</b> <i>% de SBS Óptimo Pesado.</i> .....	232
<b>Figura N° 64:</b> <i>% de SBS vs flujo Pesado.</i> .....	232
<b>Figura N° 65:</b> <i>% de Asfalto Óptimo Liviano.</i> .....	234
<b>Figura N° 66:</b> <i>% de Asfalto vs Estabilidad Liviano.</i> .....	234
<b>Figura N° 67:</b> <i>% de Asfalto vs flujo Liviano.</i> .....	235
<b>Figura N° 68:</b> <i>% de Asfalto vs Estabilidad Pesado.</i> .....	238
<b>Figura N° 69:</b> <i>% de Asfalto Óptimo Pesado.</i> .....	238

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA N° 1:</b> <i>Volúmenes de carga movilizados, por modo de transporte 2005.</i> .....	30
<b>TABLA N° 2:</b> <i>Oferta vial del departamento de Ancash 2005.</i> .....	30
<b>TABLA N° 3:</b> <i>Composición del Asfalto</i> .....	46
<b>TABLA N° 4:</b> <i>Propiedades típicas de EVA para adhesivos y recubrimientos.</i> .....	61
<b>TABLA N° 5:</b> <i>Propiedades Típicas de EVA para inyección o extrusión.</i> .....	61



<b>TABLA N° 6:</b> <i>Propiedades típicas de goma EVA.</i> .....	62
<b>TABLA N° 7:</b> <i>Propiedades de SBS (VECTOR 8505)</i> .....	64
<b>TABLA N° 8:</b> <i>Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento.</i> .....	80
<b>TABLA N° 9:</b> <i>Causas y Efectos de una poca durabilidad.</i> .....	81
<b>TABLA N° 10:</b> <i>Causas y efectos de la Permeabilidad.</i> .....	82
<b>TABLA N° 11:</b> <i>Causas y efectos de problemas en la Trabajabilidad.</i> .....	84
<b>TABLA N° 12:</b> <i>Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.</i> .....	85
<b>TABLA N° 13:</b> <i>Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.</i> .....	86
<b>TABLA N° 14:</b> <i>Normas AASHTO y ASTM aplicables para los agregados.</i> .....	95
<b>TABLA N° 15:</b> <i>Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos Modificados.</i> .....	95
<b>TABLA N° 16:</b> <i>Rangos de penetración en asfaltos.</i> .....	111
<b>TABLA N° 17:</b> <i>Carga de acuerdo al tipo de composición.</i> .....	127
<b>TABLA N° 18:</b> <i>Datos para calcular el contenido de asfalto en la mezcla.</i> .....	143
<b>TABLA N° 19:</b> <i>Porcentaje de Asfalto.</i> .....	144
<b>TABLA N° 20:</b> <i>Dosificación de la mezcla en caliente.</i> .....	145
<b>TABLA N° 21:</b> <i>Resumen de características de agregados a utilizar según Normas: .....</i>	165
<b>TABLA N° 22:</b> <i>Resumen de características del asfalto a utilizar según Normas: .....</i>	165
<b>TABLA N° 23:</b> <i>Calculo de la densidad de Bulk-Asfalto con 4.70%</i> .....	170
<b>TABLA N° 24:</b> <i>Calculo de la Densidad De Bulk-Asfalto con 5.0%</i> .....	171
<b>TABLA N° 25:</b> <i>Calculo de la Densidad De Bulk-Asfalto con 5.3%</i> .....	172
<b>TABLA N° 26:</b> <i>Calculo de la Densidad De Bulk-Asfalto con 5.6%</i> .....	173
<b>TABLA N° 27:</b> <i>Gravedad Específica de la briqueta con 4.7% de Asfalto</i> .....	174
<b>TABLA N° 28:</b> <i>Gravedad Específica de la briqueta con 5.0% de Asfalto</i> .....	174
<b>TABLA N° 29:</b> <i>Gravedad Específica de la briqueta con 5.3% de Asfalto.</i> .....	175
<b>TABLA N° 30:</b> <i>Gravedad Específica de la briqueta con 5.6% de Asfalto</i> .....	175
<b>TABLA N° 31:</b> <i>Contenido de Vacío de las briquetas.</i> .....	176
<b>TABLA N° 32:</b> <i>Desgaste de los Ángeles a la mezcla del porcentaje optimo en tránsito liviano.</i> .....	178
<b>TABLA N° 33:</b> <i>Desgaste de los Ángeles a la mezcla del porcentaje optimo en tránsito Pesado.</i> .....	178
<b>TABLA N° 34:</b> <i>Proporciones de agregados por cada porcentaje de polímero EVA. ....</i>	186
<b>TABLA N° 35:</b> <i>Calculo de densidades de bulk.-2% Polímero Eva</i> .....	190
<b>TABLA N° 36:</b> <i>Cálculo de densidades de bulk-3 %Polímero Eva</i> .....	190
<b>TABLA N° 37:</b> <i>Calculo de densidades de bulk-4% Polímero Eva.</i> .....	191
<b>TABLA N° 38:</b> <i>Calculo de densidades de bulk-5% Polímero Eva.</i> .....	192
<b>TABLA N° 39:</b> <i>Calculo de densidades de Bulk-6% Polímero Eva.</i> .....	193
<b>TABLA N° 40:</b> <i>Cálculo de Gravedades Específicas.</i> .....	194
<b>TABLA N° 41:</b> <i>Cálculo de Gravedades Específicas.</i> .....	196
<b>TABLA N° 42:</b> <i>Desgaste de los Ángeles para Tránsito Liviano</i> .....	197
<b>TABLA N° 43:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero EVA. ...</i>	198
<b>TABLA N° 44:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero Eva. ....</i>	202
<b>TABLA N° 45:</b> <i>Desgaste de los Ángeles Para Tránsito Pesado.</i> .....	206
<b>TABLA N° 46:</b> <i>Proporciones de agregados por cada porcentaje de polímero SBS. ....</i>	207



<b>TABLA N° 47:</b> <i>Cálculo de densidades de Bulk. Briquetas SBS Liviano.</i> .....	211
<b>TABLA N° 48:</b> <i>Cálculo de Gravedades Específicas.</i> .....	214
<b>TABLA N° 49:</b> <i>Cálculo de Gravedades Específicas.</i> .....	216
<b>TABLA N° 50:</b> <i>Desgaste De Los Angeles-Briquetas Con Sbs-Liviano</i> .....	217
<b>TABLA N° 51:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero SBS.</i> ....	218
<b>TABLA N° 52:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero SBS.</i> ....	222
<b>TABLA N° 53:</b> <i>Desgaste de Lo Ángeles Briquetas con Polímero SBS para tránsito Pesado</i> .....	226
<b>TABLA N° 54:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo.</i> .....	227
<b>TABLA N° 55:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo.</i> .....	230
<b>TABLA N° 56:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero EVA.</i> ...	233
<b>TABLA N° 57:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero EVA.</i> ...	235
<b>TABLA N° 58:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero SBS.</i> ....	237
<b>TABLA N° 59:</b> <i>Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero SBS.</i> ....	239
<b>TABLA N° 60:</b> <i>Costo del Proyecto de Investigación.</i> .....	242
<b>TABLA N° 61:</b> <i>Análisis de Costo del Pavimento Convencional por m<sup>2</sup>.</i> .....	243
<b>TABLA N° 62:</b> <i>Análisis de Costo del Pavimento Convencional por m<sup>3</sup>.</i> .....	244
<b>TABLA N° 63:</b> <i>Análisis de Costo del Pavimento Con Polímero SBS por m<sup>2</sup>.</i> .....	246
<b>TABLA N° 64:</b> <i>Análisis de Costo del Pavimento Con Polímero SBS por m<sup>3</sup>.</i> .....	247
<b>TABLA N° 65:</b> <i>Análisis de Costo del Pavimento Con Polímero EVA por m<sup>2</sup>.</i> .....	249
<b>TABLA N° 66:</b> <i>Análisis de Costo del Pavimento Con Polímero EVA por m<sup>3</sup>.</i> .....	250
<b>TABLA N° 67:</b> <i>Porcentajes óptimos de diseño para tránsito Liviano.</i> .....	253
<b>TABLA N° 68:</b> <i>Porcentajes óptimos de diseño para tránsito Pesado</i> .....	255





## RESUMEN

El actual trabajo de tesis tiene como objetivo principal: Analizar comparativamente las mezclas asfálticas convencionales y las modificadas con polímero EVA y SBS, en su comportamiento mecánico; demostrar si los polímeros mejoran las propiedades mecánicas del asfalto modificado en relación con el asfalto convencional.

Se especifican el uso del asfalto PEN 60-70 y agregados provenientes de la planta de asfalto "La Pluma" perteneciente al Gobierno Regional Lambayeque. Para el desarrollo de la investigación, se logró utilizar los polímeros EVA y SBS y elegir convenientemente la mezcla analizando aspectos técnicos y económicos.

Al contrastar los resultados obtenidos con el asfalto modificado respecto de un asfalto convencional, se determinó que en el diseño de mezclas de asfalto convencional el porcentaje óptimo de asfalto es 5 % para Transito Liviano y 5.3 % para Tránsito Pesado.

Partiendo del porcentaje de asfalto óptimo convencional se realizaron combinaciones para determinar el porcentaje óptimo de polímero SBS teniendo como resultados un porcentaje para transito Liviano y Pesado de 5 % y 4% respectivamente y con polímero Eva 4% para Transito Liviano y 3% para Tránsito Pesado. Realizando un análisis de costos unitarios nos muestra que en términos económicos, no hay un "ahorro" durante la ejecución de un proyecto de pavimentación, no obstante, se extiende la vida útil del pavimento, permitiendo economizar gastos en la etapa de Operación y Mantenimiento.

Kraton Performance Polymers, empresa productora de polímeros; ha dado una solución para extender la duración y reducir costos y recursos a la hora de construir y renovar las carreteras, agregando polímeros al pavimento. La Universidad Técnica de Delft, en Holanda, demostró mediante ensayos y modelamientos, mejoras en el comportamiento de los pavimentos modificados. En el 2011, los estados de Minnesota, New Hampshire y Vermont llevaron a cabo proyectos de demostración, como parte del programa de pavimentado de superficies delgadas, todas las mezclas utilizaron un aglutinante asfáltico con un 7.5 % de polímero HIMA.

Los porcentajes de polímeros que se adiciono a la mezcla asfáltica en la investigación, son técnica y económicamente los óptimos y están demostrados mediante los ensayos que se realizó en laboratorio, siendo descritos en el capítulo IV Análisis e interpretación de Resultados.

**Palabras claves:** Asfaltos, Polímero EVA, Polímero SBS, Asfalto modificado.



## ABSTRACT

The current thesis has as main objective: Comparative analysis of conventional asphalt mixtures and polymer modified EVA and SBS, in its mechanical behavior; demonstrate if the polymers improve the mechanical properties of the modified asphalt in relation to conventional asphalt.

The use of asphalt and aggregates 60-70 PEN from the asphalt plant "Pen" belonging to the Lambayeque Regional Government specified. For the development of research, it was possible to use the EVA and SBS polymers and conveniently choose the mix analyzing technical and economic aspects.

Contrasting the results obtained with the modified asphalt compared to conventional asphalt, it was determined that the design of conventional asphalt mixes the optimum asphalt is 5% and 5.3% Transito Light to Heavy Traffic.

Based on the percentage of conventional optimum asphalt combinations they were performed to determine the optimal percentage of SBS polymer having as results a percentage for traffic light and heavy 5% and 4% respectively and Eva 4% polymer Transito Lightweight and 3% for Transit Heavy . Conducting a unit cost analysis shows that in economic terms, there is no "savings" during the execution of a paving project, however, the pavement life spans, allowing cost-savings in the stage of operation and maintenance.

Kraton Performance Polymers, polymer production company; It has given a solution to extend the life and reduce costs and resources when building and renovating roads, adding polymers to the pavement. The Technical University of Delft, in the Netherlands, demonstrated by tests and modelamientos, improvements in the behavior of the modified pavements. In 2011, the states of Minnesota, New Hampshire and Vermont conducted demonstration projects as part of the program paved surfaces thin, all blends used an asphalt binder with a 7.5% polymer HIMA.

The percentages of polymers added to the asphalt mixture in research, they are technically and economically optimal and are demonstrated by the tests conducted in the laboratory, being described in Chapter IV Analysis and interpretation of results.

**Keywords:** Asphalt, Polymer EVA, Polymer SBS, Modified Asphalt.



## INTRODUCCIÓN

Las mezclas con polímero son alternativas de mezclas asfálticas que se utilizan en proyectos viales. Si bien el costo de elaboración de estos pavimentos es un tanto más elevado que al aplicar pavimento convencional, mejora sus propiedades de estabilidad y fluencia, en porcentajes que se muestran en la presente investigación, Capítulo 4.3 Discusión de Resultados. Además de sus mejoras en las propiedades mecánicas del asfalto como la estabilidad y fluencia, también existe una reducción de costo en el mantenimiento al aplicar mezclas asfálticas modificadas con polímero, extendiendo su vida útil del pavimento. En el capítulo 2.1.3 Estado del Arte, se menciona un proyecto de pavimentación que se ejecutó en EE.UU utilizando Polímero SBS en un porcentaje de 7.5%, es un proyecto demostrativo que permitió determinar características de rendimiento de las mezclas en términos de resistencia al agrietamiento reflectante y térmico y al daño provocado por la humedad. Estas mezclas fueron producidas con polímero SBS por la EMPRESA Kraton Performance Polymers. También evaluaron el tiempo de vida del pavimento aplicando polímero, obteniendo mejoras al extender su vida útil y reducir costos en las etapas de operación y mantenimiento. Este proyecto fue demostrado experimentalmente conjuntamente por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (American Association of State Highway and Transport, AASHTO) patrocinado por el Centro Nacional para la Conservación de Pavimentos (Center for Pavement Preservation) de la Universidad de Michigan.

En la investigación realizada, demostramos mediante ensayos, variación en la estabilidad de la mezcla al emplear los polímeros, EVA como SBS en porcentajes determinados como 3%, 4%, 5% y 6%. La cantidad de polímero que se agrega para el diseño de tránsito Liviano entre el polímero EVA y SBS es diferente. De la misma manera para un tránsito pesado no coincide.

Esta variación aumenta la estabilidad de la mezcla, mientras que la fluencia se mantiene dentro del rango permisible que señala la norma Marshall MTC E504 y el AASHTOT 245.

En el capítulo I, se presenta la situación problemática, asimismo la formulación del problema, delimitación de la investigación, justificación e importancia de la investigación, limitaciones y objetivos.



En el capítulo II, se presentan los antecedentes con el propósito de conocer el desarrollo de otras investigaciones relacionadas a este tipo de mezcla a nivel internacional, nacional y local, estados del arte con la finalidad de conocer variaciones, y posibles alternativas en tecnología relacionado a este tipo de mezcla, bases teóricas científicas y definición de terminología.

En el capítulo III, se presenta el tipo y diseño de investigación, población, muestra, hipótesis, Operacionalización de variables, los métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos, el procedimiento para la recolección de datos, el análisis estadístico e interpretación de datos, los criterios éticos y los de rigor científico.

En el capítulo IV describe el Análisis e Interpretación de los Resultados obtenidos en el laboratorio. Cada tabla y gráfica es producto del ensayo que se realizó en laboratorio, siendo interpretada y descrita cada resultado. Además se muestran fotografías que permiten ilustrar los procedimientos que se realizaron en las diferentes etapas del proyecto.

En el capítulo V se describe mediante tablas la propuesta de la investigación, además se presenta el análisis de costo en la elaboración de un pavimento convencional y modificados con los polímeros EVA y SBS como se describe en el presente informe

En el capítulo VI, finalizando la investigación y después de los análisis descritos en capítulos anteriores se menciona las recomendaciones al aplicar Polímero EVA y SBS, además de las conclusiones de la investigación.



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y  
SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Ataurima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

---

# **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**



## 1.1 Situación problemática.

### 1.1.1. A Nivel Internacional.

Desarrollo de la arquitectura plan maestro de sistemas inteligentes de transporte (ITS) de Perú.

#### **Informe Nº 2: Experiencias de Arquitecturas ITS en cuatro países.**

En línea con los principios establecidos en los términos de referencia del contrato, los cuatro (4) países de referencia seleccionados para el análisis de experiencias de Arquitecturas ITS responden a los siguientes criterios:

Ser líderes en uso de ITS, para poder identificar los sistemas existentes y a la vez, poder extraer la casuística de los sistemas ya implementados y los resultados obtenidos.

Ser una experiencia replicable o comparable con el Perú, es decir tener realidades similares a la problemática de Perú; para poder identificar aquellos elementos que puedan ser utilizados en el desarrollo de las siguientes fases de la propuesta.

Haber abordado la definición e implementación de una Arquitectura Nacional ITS, a fin de poder aprovechar las lecciones aprendidas de cada uno y seleccionar aquellas buenas prácticas que puedan ser aplicadas al Perú.

Permitir el análisis de la definición, implementación y uso de ITS en diferentes estratos administrativos y organizativos (municipal, regional y nacional), y diferentes agentes de la movilidad, el transporte y la logística como apoyo para la posterior identificación de actores y elementos ITS potenciales en el Perú.

Ser países latinoamericanos con una coyuntura similar a la del Perú, presentando un entorno y marco similares.

Los países objeto del estudio son los siguientes:

**Corea del Sur:** País con gran influencia tecnológica de Japón, generó en 1997 su Primer Plan Maestro Nacional ITS y en el 2000 generó el Plan ITS



para el siglo XXI, centrando sus esfuerzos en movilidad, seguridad y competitividad.

**España:** Es uno de los primeros países que adoptó tecnologías ITS. En 1982 se inició la primera fase de autopistas inteligentes en España, con los primeros Centros de información y Control. Desde 1992, este país ya cuenta con un sistema de señalización variable con tecnología LED y fibra óptica. En el 2007, se diseña e implementa el Plan Nacional de Consolidación de los ITS de carreteras y en el 2010, lidera proyectos europeos en materia de ITS (Mare Nostrum). IDOM es líder en la definición y diseño de soluciones ITS a nivel estatal, habiendo colaborado en proyectos estratégicos en los diferentes estratos administrativos (municipal, regional y nacional); así como en los diferentes ámbitos de la movilidad, transporte y logística. Por sus dimensiones geográficas, esta empresa es un líder, de cuyas soluciones pueden extraerse lecciones aprendidas de valor para el caso Perú.

**México:** La primera experiencia de México comienza con el proyecto de Telepeaje IAVE por CAPUFE en 1992. En el 2010, se elabora el Plan Estratégico Nacional para la Implementación de Sistemas ITS (IDOM participó como líder del consorcio responsable de su desarrollo) que retoma y actualiza lo definido en el documento Arquitectura Nacional ITS del 2004. Debido a que es un país latinoamericano que enfrenta problemáticas de desarrollo similares al Perú y que posee una gran diversidad de climas (selva, desierto cordilleras montañosas, etc.) constituye un caso de estudio con aplicaciones para Perú.

**Reino Unido:** Es un país líder y precursor en el desarrollo e implementación de sistemas ITS, debido a que cuenta con experiencias en, prácticamente, todas las áreas de servicio. En el año 1987, se define un marco para el transporte (New Deal for Transport) y en 1996, llega a ser uno de los primeros países en los que se generaliza el uso de cámaras de CCTV para la detección de excesos de velocidad; así como en el control de acceso a áreas urbanas con la implementación del límite de acceso a



vehículos a ciertas áreas de la ciudad. En relación al estudio y planificación de la implementación de las ITS, en el año 2000, se desarrolla el Estudio de Impacto de Transporte por el ITS y en el año 2004, se define el DTI' Technology Programme para la planificación de la aplicación de las TICs en diferentes áreas.

Según el informe en mención, los países seleccionados se encuentran mejor posicionados que el Perú en el Índice de Competitividad Global del Foro Económico Mundial. Asimismo, presentan un mayor desarrollo de sus infraestructuras globales y en la calidad de las mismas.

De estos países, México destaca como el país latinoamericano con una realidad similar a la del Perú. Dicho país ha logrado afianzar su mejora en niveles de competitividad en base a la estabilidad de su entorno macroeconómico, a un sistema financiero desarrollado y al buen proceso de desarrollo de las infraestructuras. En esta situación, los esfuerzos de México se orientan hacia la mejora del sector energético, la educación, el funcionamiento de las instituciones administrativas, el desarrollo de las TICs y, fundamentalmente, la seguridad.

España, Reino Unido y Corea el Sur se presentan como países que cuentan con un mayor nivel de competitividad, destacando el grado de desarrollo de las infraestructuras para el transporte (Reino Unido y España se encuentran entre los 10 primeros países del mundo en términos de infraestructuras).

Asimismo, Corea del Sur y Reino Unido se encuentra en las veinte (20) primeras posiciones en innovación y capacidad tecnológica, destacando el nivel de desarrollo e implementación de las TICs.



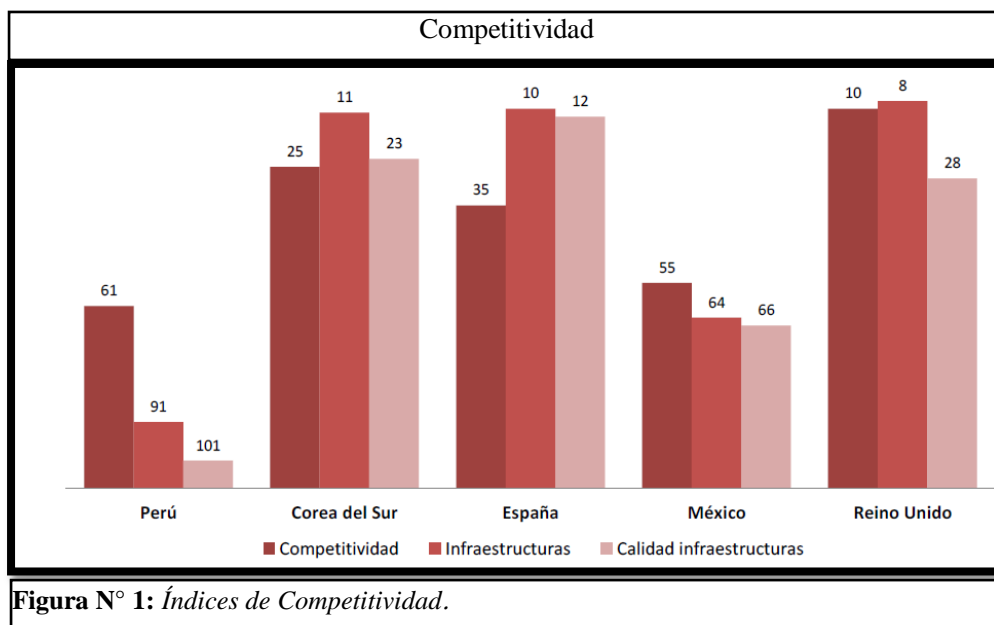


Figura N° 1: Índices de Competitividad.

Fuente: Foro Económico Mundial 2013-2014.

El incremento del volumen de transporte por carretera unido al crecimiento de la economía y a las necesidades de los usuarios en el ámbito de la movilidad es la causa principal de la creciente congestión de las infraestructuras viales y del aumento del consumo de energía; así como una fuente de problemas medioambientales y sociales.

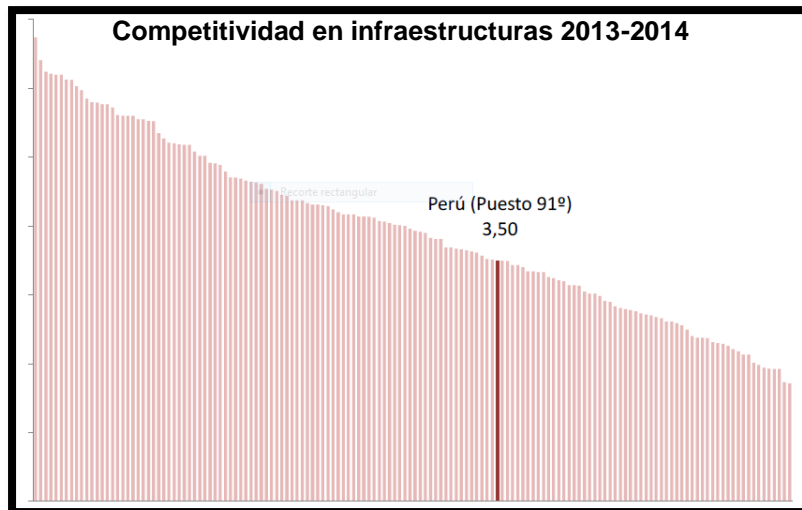
Además de los problemas de congestionamiento y de inseguridad asociados al transporte, existen otros problemas de menor importancia que reflejan las carencias por el uso ineficiente de la infraestructura, provocando así pérdidas de productividad. Estos problemas están relacionados con la búsqueda de un lugar para estacionar, detenerse a pagar en una caseta de peaje o detenerse a verificar el peso de un vehículo o mercancía transportada, etc.

De este modo, la mejora de la movilidad y el transporte afecta directamente el desarrollo de la economía y la mejora de la competitividad de una nación. Los países latinoamericanos que lideran el grupo de países emergentes, según la opinión de diferentes organismos internacionales, son México, Brasil, Colombia, Chile y Perú.

Si bien el Perú, en términos globales, ha experimentado una importante mejora en la competitividad, el desarrollo y mejora de las infraestructuras supone una importante línea de trabajo. Esta situación se ve reflejada en el Índice de Competitividad Global 2013-2014, elaborado por el Foro Económico Mundial,



en el cual el país ocupa el puesto 91º a nivel mundial en relación a infraestructuras.



**Figura N° 2:** Escala de índice de competitividad en infraestructura 2013 – 2014.

**Fuente:** Foro Económico Mundial 2013-2014.

El camino a esta mejora no puede limitarse a medidas tradicionales relacionadas a la construcción de nuevas infraestructuras o una mejora estructural de las mismas. Un desarrollo ordenado de los sistemas ITS permite a los diferentes usuarios estar mejor informados y hacer un uso más seguro, más coordinado y más inteligente de las redes de transporte.

La arquitectura nacional ordena la definición y relación entre las diferentes soluciones que se pueden desarrollar, definiendo y estructurando los servicios ITS a ofrecer. Los servicios ITS definen, en términos de requerimientos funcionales, las actividades a desarrollar por los sistemas ITS; no supone una indicación de la solución tecnológica a aplicar para el desarrollo de un proyecto. La implementación de estos servicios en un marco temporal y geográfico implica el uso de las tecnologías como medio de solución de la funcionalidad original.

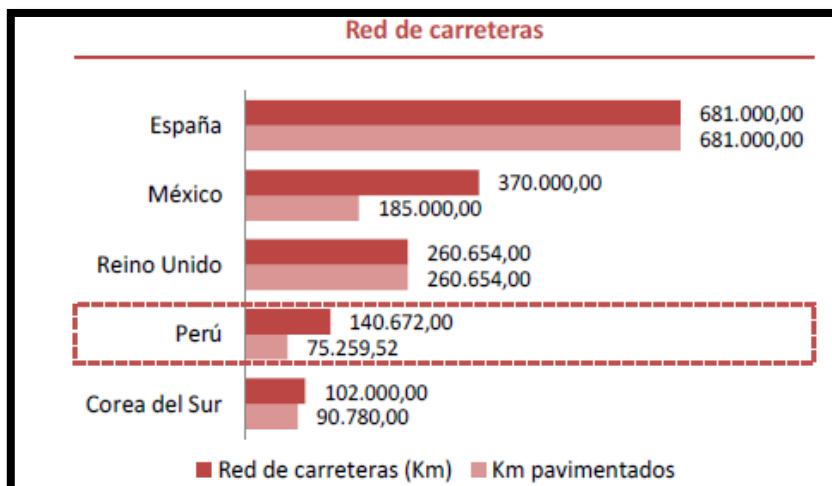


Figura N° 3: Infraestructuras de transporte 2013-2014

Fuente: Foro Económico Mundial 2013-2014.

Los países seleccionados presentan importantes redes de infraestructura; sin embargo el Perú se encuentra en una situación más desfavorable, respecto al resto de países, particularmente, en términos de despliegue de infraestructuras para el transporte.

Asimismo, es importante mencionar la buena calidad de infraestructuras para el transporte en los países seleccionados, destacando la posición de España, quien ocupa el puesto 12° a nivel de infraestructuras globales.(Informe de competitividad del Foro Económico Mundial 2013-2014).

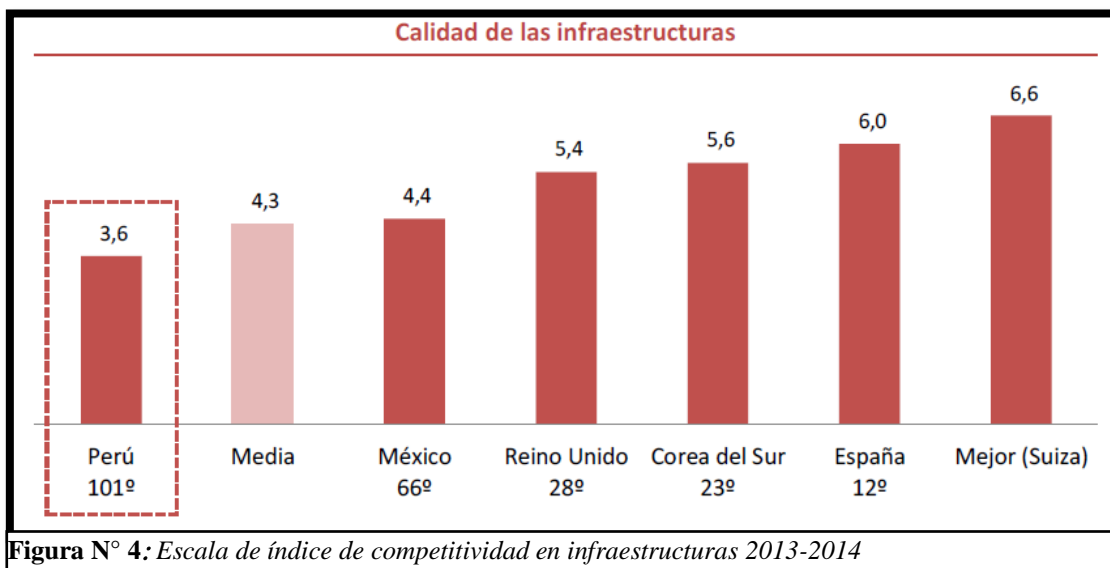
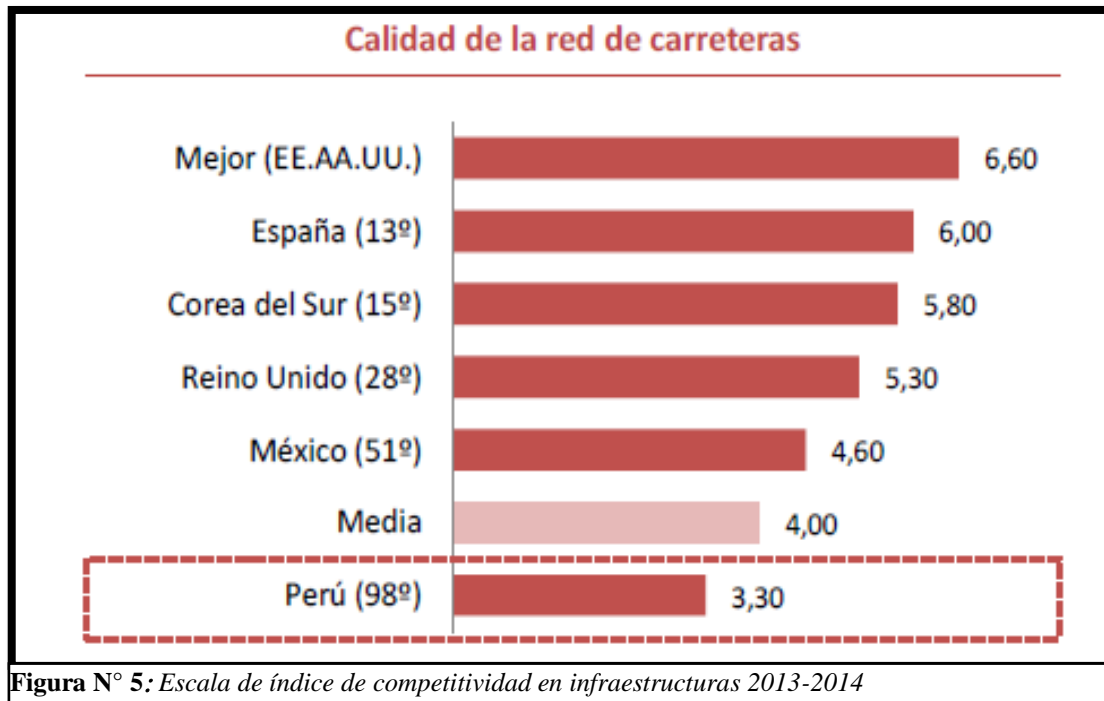


Figura N° 4: Escala de índice de competitividad en infraestructuras 2013-2014

Fuente: Foro Económico Mundial 2013-2014



Fuente: Foro Económico Mundial 2013-2014

### 1.1.2. A Nivel Nacional.

En la región Ancash, el transporte de pasajeros como de carga, se desarrolla a través de los modos de transporte terrestre, aéreo y acuático, siendo el de mayor importancia, el de transporte terrestre y este representa aproximadamente el 87.83% del transporte total de pasajeros y carga (ver Tabla N° 1).

Existen dos hechos en la historia de Áncash, que han determinado el predominio del transporte terrestre, estos son: el sismo del año 1970 y el reciente repunte de la explotación minera. Paralelamente a estos hechos, se proyectó explotar la belleza turística (nevados, parajes naturales y lagunas), y al mismo tiempo dar a conocer los restos arqueológicos que en el departamento tienen un valor especial y estratégico. Estos hechos han originado una estructura vial longitudinal y transversal que permite el intercambio comercial de productores de la zona costa y sierra de la región Ancash, por ende del Perú, intensificando la oferta y demanda en los mercados.



El predominio del transporte terrestre, se debe básicamente a que las carreteras se han estructurado en función a las áreas productivas principalmente agrícolas, ganaderas y mineras, distribuidas en el ámbito regional y desarrollándose como infraestructura de apoyo para el intercambio comercial entre los pueblos, actuando como un elemento dinamizador del comercio, entre los centros de producción y de consumo.

En estos cuadros se detallaran la oferta vial en el departamento obtenidos del PLAN VIAL DEPARTAMENTAL PARTICIPATIVO DE ÁNCASH:

**TABLA N° 1**

*Volúmenes de carga movilizados, por modo de transporte 2005.*

<b>DEPARTAMENTO DE ANCASH VOLÚMENES DE CARGA MOVILIZADOS, POR MODO DE TRANSPORTE</b>		
<b>MODO DE TRANSPORTE (Por Orden de Importancia)</b>	<b>VOLUMEN DE CARGA MOVILIZADO Tn/mes</b>	<b>%</b>
Aéreo	180.00	0.01%
Carretero	1,872,423.80	87.83%
Marítimo	259,153.50	12.16%
<b>TOTALES</b>	<b>2,131,757.30</b>	<b>100%</b>

Fuente: DRTC-A./ Inventario Vial  
 Elaboración: Equipo Técnico de Planificación – Gobierno Regional de Ancash.

**TABLA N° 2**

*Oferta vial del departamento de Ancash 2005.*

**RED VIAL SEGÚN SUPERFICIE DE RODADURA EN COSTA Y SIERRA**

<b>TIPO DE RED VIAL</b>	<b>TOTAL</b>		<b>COSTA</b>		<b>SIERRA</b>	
	<b>KM.</b>	<b>%</b>	<b>KM.</b>	<b>%</b>	<b>KM.</b>	<b>%</b>
Carreteras Asfaltadas	870.03	17.62%	529.83	10.73%	340.2	6.89%
Carreteras Afimadas	1503.15	30.44%	481.77	9.76%	1021.38	20.69%
Carreteras Sin Afimar	1164.09	23.58%	256.45	5.19%	907.64	18.38%
Trochas Carrozables	1400.16	28.36%	381.7	7.73%	1018.46	20.63%
<b>TOTAL</b>	<b>4937.43</b>	<b>100.00%</b>	<b>1649.75</b>	<b>33.41%</b>	<b>3287.68</b>	<b>66.59%</b>

Fuente: DRTC-A. / Inventario Vial

Elaboración: Equipo Técnico de Planificación – Gobierno Regional de Ancash



### 1.1.3. A Nivel Local.

#### Chiclayo

#### **Problemas del mal comportamiento de los pavimentos - 2010**

Como se ha explicado, los daños que sufren los pavimentos tienen diversos orígenes, pero fundamentalmente provienen del comportamiento diseño de mezclas asfálticas y estas se debe minimizar, las capas asfálticas deben aumentar la durabilidad y evitar el deterioro del pavimento.

En general, las condiciones presentadas. Prácticamente, la totalidad de las fallas ocurridas en las últimas décadas en los pavimentos del departamento de Lambayeque se ha producido por problemas de agrietamiento. Es, pues, indispensable mirar el problema desde esta perspectiva y hacer algunas reflexiones sobre el comportamiento de los pavimentos y su interacción con las vías de Chiclayo.

**La calle América**, que se ubica entre América y democracia, se encuentra deteriorada y sin asfalto hace más de cuatro años. La calle dorado deteriorado por las aguas hervidas provenientes de los buzones, por el paso de los vehículos livianos y pesados.

Los pavimentos en la ciudad de Chiclayo son diversas, y van desde procesos constructivos o estudios técnicos deficientes. Estamos convencidos que no; como sabemos el asfalto por su propia naturaleza son difíciles de reciclar, por lo que cada vez que se realiza un parchado del pavimento, el material extraído es desechado lo que significa una pérdida económica para la ciudad.

Se desconocen las cifras actuales de la cantidad de dinero invertida en el parchado de calles dentro de la ciudad; sin embargo, y por lo que se observa a diario, la mayoría de calles



son parchadas o necesitan una rehabilitación antes que cumplan un año después de su inauguración

## **1.2 Formulación del Problema.**

¿De qué manera la utilización de polímeros (EVA) y (SBS) mejorarían las propiedades mecánicas en el diseño de mezclas asfálticas convencionales en caliente?

## **1.3 Delimitación de la Investigación.**

El estudio se limitó a encontrar un diseño de mezcla de asfalto para pavimentos de tránsito liviano y pesado, también según la clasificación de carreteras de primera y segunda clase; adicionándole polímeros (EVA) y (SBS).

## **1.4 Justificación.**

### **1.4.1 Justificación Tecnológica.**

Los resultados del presente trabajo de investigación mejoraran la infraestructura vial, adicionando materiales nuevos, innovadores e incluso reciclables que ayuden a mejorar las propiedades y así contribuir con el desarrollo de la economía de nuestra nación.

### **1.4.2 Justificación Social.**

Los resultados del presente trabajo de investigación permitirán disminuir el congestionamiento en la operación y posible mantenimiento de esta y el deterioro de las estructuras a corto plazo, mejorando y ampliando la vida útil de la estructura y la vez contribuyendo con la economía y competitividad de una nación como la nuestra.

### **1.4.3 Justificación Ambiental.**

El material propuesto en la investigación tendrá mejores características, que evitarían la constante reparación, mantenimiento, ahorrando costos, combustible que dañan el medio ambiente., reduciendo la contaminación ambiental que es un tema de vital importancia en la actualidad.



## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General.**

Analizar comparativamente las mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS y EVA, en su comportamiento mecánico.

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

Determinar la mejor mezcla asfáltica con porcentajes de polímeros.

Analizar comparaciones entre la mezcla asfáltica convencional y modificada con polímeros.

1. Realizar ensayos en laboratorio para obtener la resistencia al desgaste, a las cargas dinámicas, la durabilidad del asfalto modificado con polímeros.
2. Proponer una mejora en la vida útil del pavimento convencional utilizando polímeros.
3. Proponer una alternativa para la reducción de costos de materiales usando polímeros, en operación y mantenimiento.
4. Contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento) de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez.
5. Disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad.
6. Disponer de un ligante de mejores características adhesivas y de mayor durabilidad.





"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y  
SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Ataurima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

---

## **CAPITULO II:**

# **MARCO TEORICO**



## **2.1 Antecedentes de la Investigación.**

### **2.1.1 A nivel Internacional**

#### **Botasso y Segura. Concepción (2013).**

A la luz de los experimentos realizados se puede observar en el proceso de caracterización desarrollado las siguientes particularidades. Al dispersar polvo de NFU en el cemento asfáltico CA-20 utilizado se ha logrado aumentar el punto de ablandamiento del ligante asfáltico original y aumentar la recuperación elástica por torsión. Para ello el equipo dispersor ha demostrado ser una herramienta que permite la microdispersión.

Se observa que la densidad Marshall alcanzada con el asfalto modificado con 8% de NFU es menor que la que se obtiene con el asfalto modificado con SBS. Esto posiblemente se deba al efecto de amortiguación que genera el polvo de caucho triturado en la mezcla asfáltica. De hecho el 8% fue el porcentaje máximo admitido entre los valores de modificación óptimos del ligante asfáltico y las pérdidas de densidad en las mezclas, siendo estas dos valoraciones, grado de modificación alcanzado por el asfalto versus densidad de las mezclas, dos valores que se tensionan entre sí. Los valores obtenidos volumétricos y mecánicos cumplen con lo exigido en las especificaciones para este tipo de mezclas discontinuas finas.

Las mediciones en los modelos realizados han permitido evaluar la macrotextura y la microtextura. Los valores de macrotextura son un poco menor en el microaglomerado con caucho que en el realizado con polímero virgen. Esto posiblemente se deba a la mayor cantidad de vacíos obtenidos en la mezcla con adición de NFU. La pérdida de macrotextura en la mezcla realizada con asfalto modificado con caucho de NFU, es mayor que en el microaglomerado convencional; también se puede inferir que



esto sea debido al mayor porcentaje de vacíos de la mezcla. Sin embargo, ambas pérdidas mantienen entornos razonables de servicio dadas las condiciones de temperatura de 60°C a las que se han sometido en el modelo de ensayo WTT. En ambos casos resultan ser superiores a los valores habitualmente exigidos para planificar una próxima intervención superficial debido al deterioro de la macrotextura, este umbral es de  $H = 0.5$  mm.

Los valores de microtextura obtenidos antes y después del proceso de solitación del modelo son satisfactorios y los microaglomerados desarrollados con polvo de NFU tienen mejor desempeño. Esto se presume se deba a que el mastic asfáltico generado en la envuelta del árido grueso, que constituye la microtextura, es más áspero debido a la presencia de las partículas microdispersas del polvo de NFU en el mezcla.

Finalmente, se debe correlacionar los resultados obtenidos en laboratorio con los obtenidos en una obra a escala real para condiciones iniciales y después del deterioro, considerando condiciones climáticas y de tránsito particulares del proyecto en estudio.

Se concluye que es posible aplicar el modelo de solitación del ensayo de *Wheel Tracking Test* WTT como modelo de carga y solitación para el deterioro de la macrotextura y de la microtextura de un microaglomerado discontinuo en caliente. Se evidencian cambios de significación en estas propiedades, que si bien no se pueden asociar al ciclo real de deterioro de la calzada, sí permite establecer correlaciones comparativas entre diferentes mezclas hasta tanto se establezcan relaciones con los modelos a escala real en la calzada de la obra.

El asfalto modificado con caucho proveniente de la trituración de neumáticos fuera de uso NFU permite desarrollar



microaglomerados con valores de macrotextura y microtextura iniciales similares a los de una mezcla realizada con polímero virgen. Luego de poner las probetas de 30 x 30 cm en el equipo WTT, se observó que al someterlas a un proceso de 3 pasadas, a efectos de generar un área de valoración adecuada, las dos variables evaluadas se encuentran dentro de un rango de apreciación esperable. La macrotextura de las mezclas con NFU se deteriora más rápidamente que en un microaglomerado con polímero virgen, influyendo esto en la capacidad de evacuación del agua de la superficie de la calzada. Sin embargo, los valores en ambos casos, antes y después del proceso de deterioro, son aún satisfactorios. En cuanto a la microtextura, la responsable de disminuir la distancia de frenado en condición de pavimento mojado, se ha visualizado un mejor desempeño en las mezclas realizadas con asfalto modificado con NFU. Esto se presume se debe a las condiciones de aspereza que el mastic adquiere con el polvo de neumáticos depositado sobre los áridos gruesos de la misma.

Se plantea como futuro trabajo de investigación, correlacionar los valores alcanzados en laboratorio, tanto para las condiciones iniciales, como después del deterioro, con valores de deterioro percibidos en las obras, con condiciones climáticas y de tránsito de la región donde se realice la obra.

### **2.1.2 A nivel nacional. Salinas (2009).**

En la tesis de aplicación de micropavimento usando asfalto modificado con polímero en la vía Sullana - aguas verdes y citando Figura 2.2.1 Comportamiento reológico de los asfaltos modificado con SBS. Fuente: Asfaltos modificados con polímeros, Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT), Diciembre de 2000.



## **Susceptibilidad térmica de los asfaltos modificados con polímero SBS**

Haciendo uso de un diagrama BTDC (Bitumen Date Test Chart) desarrollado por Heukelom, veremos cómo son los cambios en la susceptibilidad térmica de los asfaltos convencionales cuando son modificados con polímeros tipo SBS. En la figura N° 6, puede apreciarse que un asfalto convencional empleado en pavimentación, presenta una variación lineal de su consistencia con la temperatura. Por el contrario, el mismo asfalto modificado SBS muestra un comportamiento no lineal. Esta diferenciación en el comportamiento de estos materiales justifica las ventajas de utilización de este tipo de productos. Tal como se aprecia, en las zonas de bajas temperaturas, el asfalto modificado presenta mejores características de flexibilidad que el asfalto convencional, como lo indican los valores más bajos de consistencia. En el rango de temperaturas de servicio, 60 – 70°C, el asfalto modificado presenta menor susceptibilidad térmica, con consistencias elevadas, lo que asegura una buena resistencia de las mezclas asfálticas a las deformaciones permanentes. Finalmente, en las zonas de las temperaturas de mezclado en la planta asfáltica, el asfalto modificado presenta una viscosidad algo mayor que la del asfalto convencional, pero de ninguna manera dificulta las operaciones de preparación de las mezclas.



Comportamiento reológico

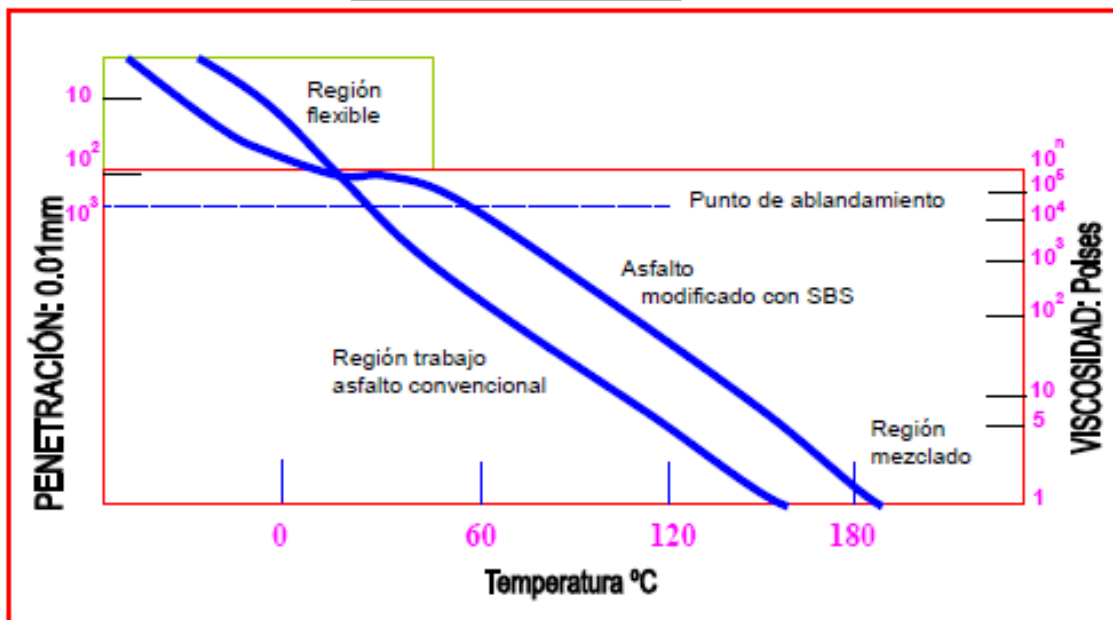


Figura N° 6: Comportamiento reológico de los asfaltos modificados con SBS.

Fuente: Asfaltos modificados con polímeros, Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMITE), Diciembre de 2014.

### CONCLUSIONES

Existen muchas consideraciones para la fabricación y colocación de los micropavimentos modificados, sin embargo es imprescindible realizar un tramo de prueba teniendo en cuenta los agregados con que se cuenten, además de sus porcentajes presentes en la mezcla, el ligante modificado, el clima, etc, pues todos estos factores influyen para determinar la colocación de la mezcla asfáltica, ya que en nuestra experiencia en campo se ha tenido que hacer la compactación, haciendo vibrar el rodillo liso y contar con un rodillo neumático para dar el acabado final y así lograr la compactación adecuada.

El contar con agregados que tengan una granulometría discontinua otorga una buena y duradera macrotextura, mejorando la resistencia al deslizamiento.

La rapidez de habilitación del tránsito sólo basta pocas horas, en nuestro caso se dio funcionamiento de la carretera en un rango de



una a dos horas aproximadamente facilitando la circulación en la vía.

La temperatura de mezclado y compactación es superior a la de una mezcla tradicional debido a los polímeros presentes en la mezcla asfáltica.

La colocación del micropavimento, es similar a la de una mezcla convencional, la diferencia radica en la rapidez que requiere, debido al enfriamiento de la misma.

Es preferible que se utilicen agregados provenientes de la trituración, para tener mayor adherencia entre el asfalto y el agregado.

El contenido de asfalto en el diseño elaborado en la cantera Débora es de 6.3% y de la cantera Charán 5.7% .Esta diferencia se debe a la absorción y porosidad de los agregados ya que necesitan mayor cantidad de ligante uno respecto del otro.

Existe una relación directa entre la absorción y porosidad de los agregados, pues hay mayor absorción, cuanto más poroso es el agregado, debido a que los agregados tienen mayor vacío que deben ser rellenados por el asfalto.

El cemento asfáltico + polímero, disminuye la susceptibilidad térmica, mejora el comportamiento a la fatiga, aumenta la resistencia al envejecimiento, aumenta la adhesividad árido-ligante, permite el uso del asfalto en mezclas abiertas, microaglomerados, mezclas drenantes, etc.

En la tabla 3.2 de la tesis mencionada se aprecia que la composición de las mezclas Charán y Débora, se puede apreciar que a mayor estabilidad disminuye el contenido de asfalto y a menor estabilidad aumenta el contenido de asfalto. También se puede afirmar que a menor contenido de asfalto disminuye el flujo y a mayor contenido de asfalto aumenta el flujo, esto quiere decir que en todo diseño se debe contar con un óptimo contenido de asfalto con el fin de cumplir con las demás solicitudes como



son: peso unitario, volumen de vacíos, vacíos en el agregado mineral y relación asfalto/vacíos.

En el capítulo V se desarrolló una comparación del comportamiento del asfalto modificado respecto del asfalto convencional. Los resultados fueron la disminución de la penetración, aumento del punto de ablandamiento de los asfaltos modificados y además que los asfaltos convencionales carecen de la propiedad de recuperación elástica torsional. Respecto a la comparación de cantidad de ligante, el ensayo Marshall nos permitió comprobar que el porcentaje de asfalto en la mezcla modificada y sin modificar, no varía. Es decir, no hay ahorro durante la etapa de ejecución del pavimento, sin embargo, se espera un ahorro durante la etapa de operación y mantenimiento debido al mejor comportamiento y una mejor vida útil esperada.

### **2.1.3 Estado del Arte.**

#### **Asfalto muy modificado Hima Kraton (Holanda, 2011)**

Los polímeros SBS (estireno-butadieno-estireno) convencionales se pueden mezclar con betún a un porcentaje del 7 u 8 %, ahora bien, el asunto de la compatibilidad plantea un problema en todos los betunes, salvo en los más blandos, y es posible que el grado de viscosidad sea excesivo como para que la mezcla se pueda trabajar a temperaturas normales. El polímero D0243 Kraton ofrece una compatibilidad excepcional y un grado de viscosidad bajo, lo que ayuda a erradicar este problema.

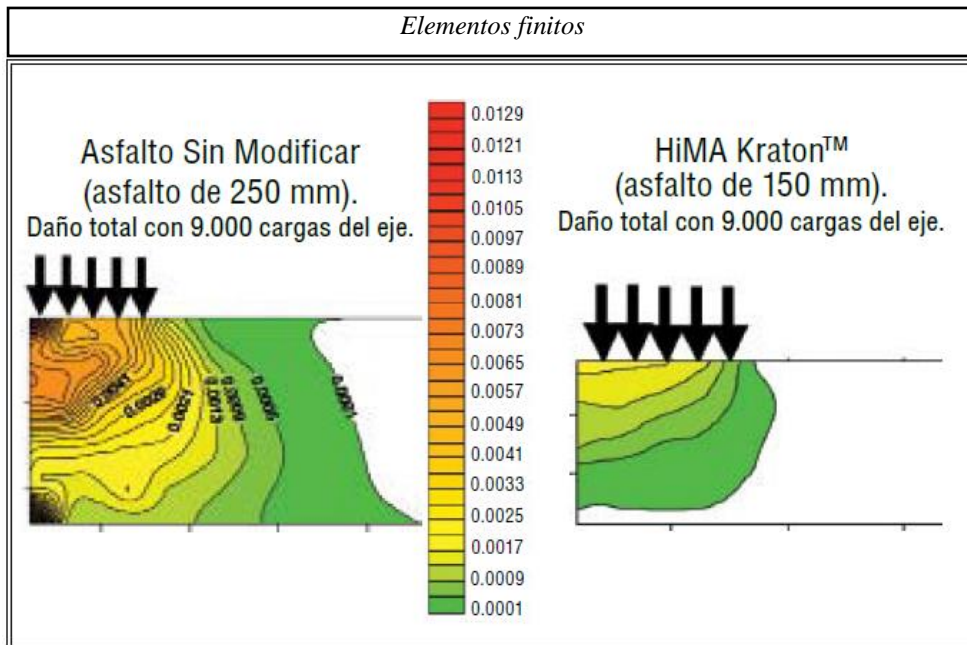
HiMA es una herramienta que se puede emplear para solucionar algunos de los problemas que aparecen en los pavimentos de asfalto. Proporciona una combinación entre la reducción de la deformación permanente y una resistencia al agrietamiento por fatiga que se puede aplicar a pavimentos estructurales más delgados, capas superpuestas más delgadas y duraderas,





productos de emulsiones más fuertes y resistentes a las grietas, y en aplicaciones sujetas a grandes tensiones, como las plataformas de los puentes. Los cálculos que se realizan en el diseño del pavimento utilizando software, que incluye tanto los valores de rigidez como los resultados a la fatiga de una mezcla determinada, demuestran que lo hallado en la Universidad Técnica de Delft y en el NCAT se puede predecir con los parámetros de los materiales de una mezcla de asfalto muy modificada.

Kraton Performance Polymers, ha dado una solución para reducir los costos y recursos a la hora de construir carreteras, además de poder extender el tiempo de vida útil. Mediante ensayos de laboratorio y modelaje de elementos finitos en la Universidad Técnica de Delft, Holanda. En 2011, los estados de Minnesota, New Hampshire y Vermont llevaron a cabo proyectos de demostración, como parte del programa de pavimentado de superficies delgadas HiMA TSP2 de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (American Association of State Highway and Transport, AASHTO) patrocinado por el Centro Nacional para la Conservación de Pavimentos (Center for Pavement Preservation) de la Universidad de Michigan. Se tomaron muestras de las mezclas producidas en fábrica durante la instalación en campo y se probaron en el Centro de Investigación para la Sostenibilidad de Autopistas (Highway Sustainability Research Center, HSRC), sito en la Universidad de Massachusetts Dartmouth. Todas las mezclas utilizaron un aglutinante asfáltico muy modificado con polímeros, que consistió en un aglutinante (PG -34acredito que este valor esta errado) blando con un 7,5 % de polímero HiMA.



**Figura N° 7:** Modelaje de elementos finitos Universidad Tecnica de Delft- Holanda

**Fuente:** Asfaltos modificados con polímeros, Kraton Giving Innovators Ther edge, 2011

## 2.2 Bases Teórica.

### 2.2.1 Asfalto

Stalin López y Yandira Veloz (2013).

Es un componente natural que se puede encontrar en yacimientos naturales o a través de la destilación cruda del petróleo, los estudios arqueológicos indican que es uno de los materiales de construcción más antiguos que el hombre ha utilizado, ya que apreciaron rápidamente las excelentes propiedades impermeabilizantes, adhesivas y de preservación que tenían.

En su evolución, se han logrado avances significativos al tratar el cemento asfáltico original (obtenido del petróleo crudo) con otras sustancias que permiten mejorar su comportamiento cuando es sometido a condiciones externas, como climas muy fríos o calurosos, tránsito de vehículos muy pesados o ambientes agresivos.



Sólo en Europa actualmente existen más de 4000 plantas de mezcla asfáltica alrededor de 16 países. España se encuentra entre los principales fabricantes.

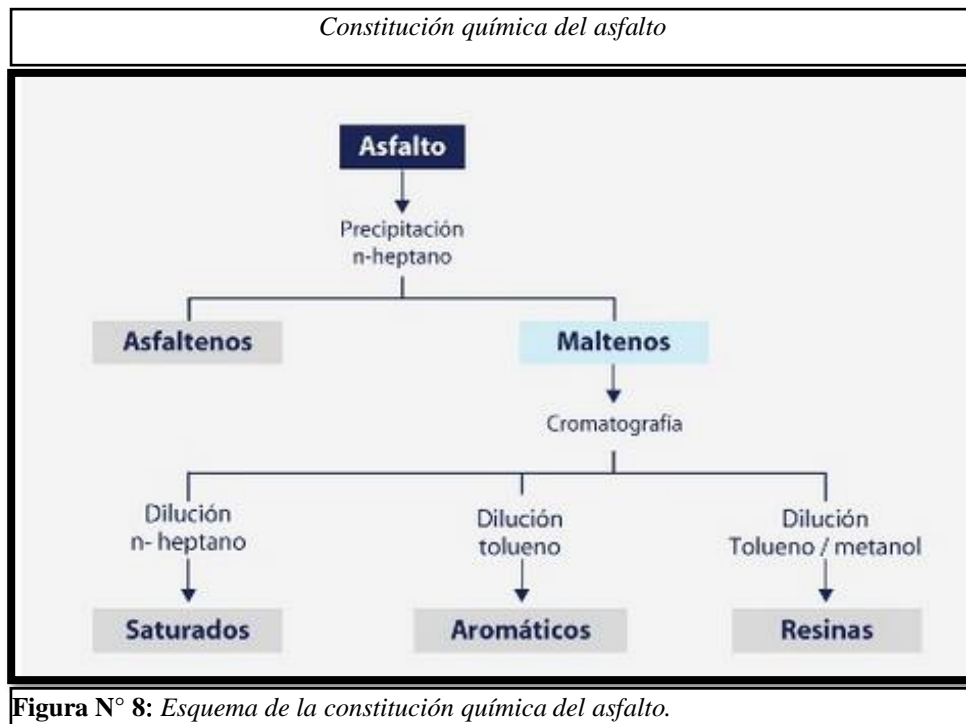
El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

En su constitución química el asfalto básicamente está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxigeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es diluido en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parece al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites.

Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de los asfaltenos y maltenos en los asfaltos puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y el oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado.



**Figura N° 8:** Esquema de la constitución química del asfalto.

**Fuente:** Productos Repsol

### 2.2.2.1 Composición del Asfalto

Los asfaltos son mezclas complejas de hidrocarburos variando en el caso de los cementos asfaltos semisólidos de materiales de bajo peso molecular (aproximadamente 300) a materiales de alto peso molecular (más de 5,000).

Diferentes cementos asfálticos clasificados dentro de un mismo tipo por ejemplo 85-100 de penetración aunque tengan la misma consistencia a 25°C pueden que tengan diferentes características de susceptibilidad a la temperatura, de carga deformación, etc.

La composición química de los asfaltos es muy compleja, básicamente está constituida por cadenas de moléculas compuestas fundamentalmente por carbono, hidrogeno, azufre, oxigeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio.



**TABLA N° 3**

*Composición del Asfalto*

Elemento	Betún A	Betún B	Betún C	Betún D
Carbono (%)	83.77	85.78	82.90	86.77
Hidrógeno (%)	9.91	10.19	10.45	10.93
Nitrógeno (%)	0.28	0.26	0.78	1.10
Azufre (%)	5.25	3.41	5.43	0.99
Oxígeno (%)	0.77	0.36	0.29	0.20
Vanadio (ppm)	180	7	1380	4
Níquel (ppm)	22	0,4	109	6

Fuente: REPSOL

*Esquema coloidal del Pfeiffer*

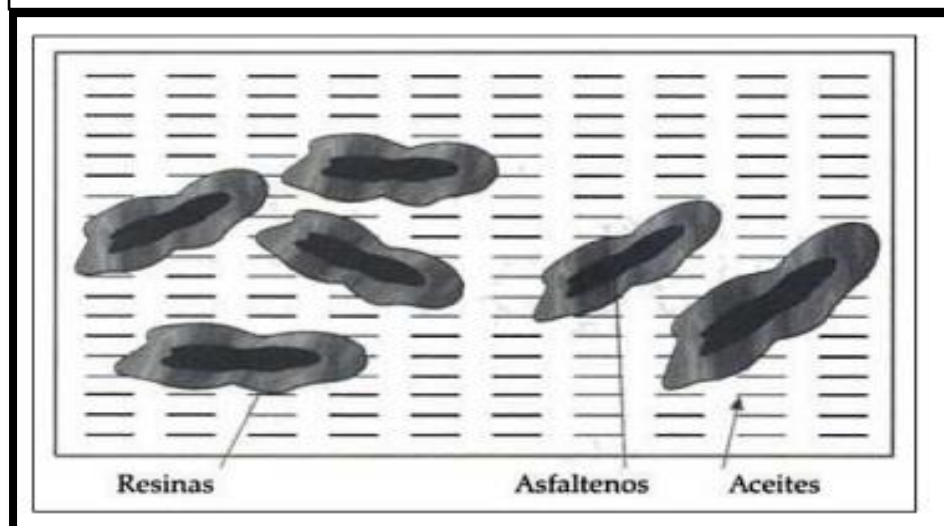


Figura N° 9: Esquema coloidal del Pfeiffer.

Fuente: Hugo León Arenas, Tecnología del cemento asfáltico.

Cuando el asfalto es disuelto en n-heptano, los materiales duros son precipitados, estos materiales son llamados asfaltenos, nombre propuesto por Boussingault en 1837. Existen otras fracciones asfálticas precipitadas por otros solventes, pero esta es la mejor manera de distinguir a estos materiales como insolubles en n-pentano.

Las sustancias solubles en n-heptano se denominan en general petrolenos, también llamados maltenos. Las resinas se encuentran en los petrolenos, pueden ser parcialmente precipitadas por algunos solventes o adsorbidas de los petrolenos por medio de arcillas u otras minerales activados, estas resinas, previamente adsorbidas,



pueden pasar a un proceso de desorción del mineral por solventes previamente seleccionados.

Los carbenos son materiales duros presentes en los asfaltenos de algunos asfaltos. Estos son solubles en disulfuro de carbono pero insolubles en tetracloruro de carbono.

### **2.2.2.2 Características Reológicas del Asfalto.**

Fredy, R (2003).

La reología es una de las propiedades más importantes de los productos asfálticos. Se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante: la viscosidad.

La viscosidad del asfalto varia con la temperatura en mayor o menor grado (susceptibilidad térmica) y su estudio es muy importante y de interés practico, porque en todas las aplicaciones del asfalto se debe modificar su viscosidad mediante el calentamiento.

A temperaturas altas el asfalto se considera un fluido viscoso, mientras que a temperaturas bajas de servicio se considera un material solido con propiedades elásticas.

### **2.2.2.3 Producción del asfalto.**

El asfalto es un producto negro y pegajoso, que proviene del crudo o petróleo. El asfalto se ha convertido en un material importante en la construcción civil.

Una vez que el crudo llega a la refinería se calienta en un gran horno a temperaturas superiores a los 370° C, para después transportarlos a una torre de destilación, el corazón de la refinería. En la torre se fragmenta el crudo en diferentes componentes.

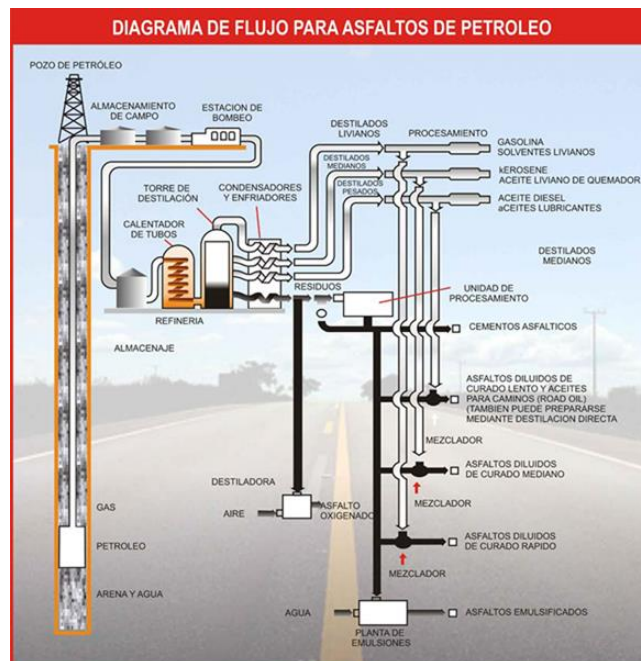
Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:



- a) Destilación por vacío
- b) Extracción con solventes

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

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



**Figura N° 10:** *Proceso de refinación del Petróleo para obtención del Asfalto.*

**Fuente:** Repsol



## **2.2.2.4 Propiedades del asfalto**

Las propiedades físicas más importantes del cemento asfáltico, que son tenidas en cuenta en el diseño, construcción y mantenimiento de carretera, son:

### **2.2.2.4.1 Adhesión y Cohesión.**

Adhesión es la capacidad del cemento asfáltico para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión es la capacidad del cemento asfáltico de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

### **2.2.2.4.2 Durabilidad.**

López, S y Veloz, Y (2013).

Indica que tanto permanecen en un cemento asfáltico sus características cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

### **2.2.2.4.3 Susceptibilidad al Endurecimiento y Envejecimiento**

El endurecimiento del asfalto es causado por la combinación con el oxígeno (oxidación) o por volatilización. La oxidación y el endurecimiento más severo ocurren durante el mezclado, pues el asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas.

### **2.2.2.4.4 Susceptibilidad a la Temperatura.**

Esta es una de las propiedades más importantes del asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de diferente origen, aun si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia. Se define como el cambio de la consistencia, medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de la temperatura. En el caso del asfalto viene a ser la variación de sus propiedades al ser sometido a determinadas temperaturas.



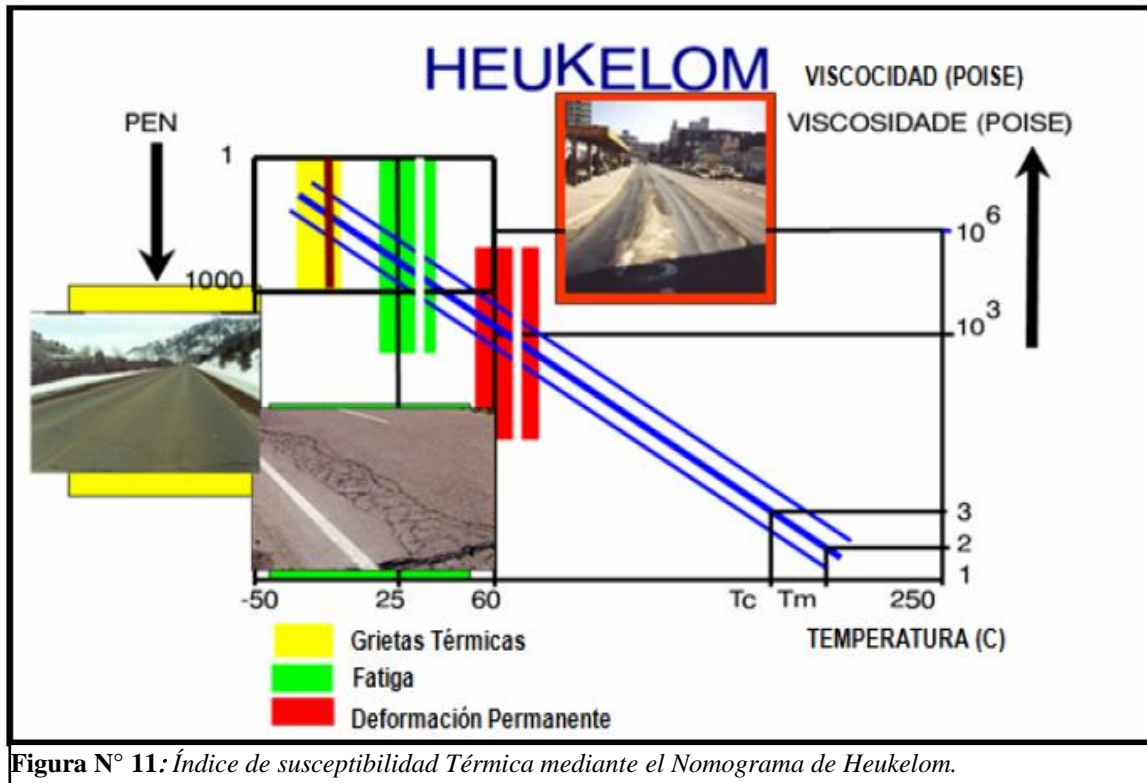


Figura N° 11: Índice de susceptibilidad Térmica mediante el Nomograma de Heukelom.

**Fuente:** El estado del arte de los Pavimentos Asfálticos- Huamán N (2010). Curso TITEX URP. Perú (Referencia Bibliográfica 21).

### 2.2.1.5 Tipos de Asfaltos Utilizados para hacer Pavimentos.

Se presentan cinco clases de asfaltos utilizados en pavimentos:

#### 2.2.1.5.1 Cemento Asfáltico (AC).

Stalin López y Yandira Veloz (2013).

Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden sub-clasificar bajo tres sistemas diferentes:

- Viscosidad antes del envejecimiento.
- Viscosidad después del envejecimiento.
- Penetración.

Se prepara comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 70-90, AC 60-80, AC 80-100. Los números indican la penetración en decimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los



ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto.

#### **2.2.1.5.2 Asfaltos Líquidos.**

Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida, por ello no se incluyen en el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. También se los denomina asfaltos rebajados o cutbacks.

Se componen por una fase asfáltica y un fluidificante volátil, que puede ser bencina, queroseno o aceite. Los fluidificantes se evaporan (proceso de curado), quedando el residuo asfáltico el cual envuelve y cohesiona las partículas del agregado.

Dentro de los asfaltos líquidos encontramos los siguientes productos:

#### **2.2.1.5.3 Asfaltos de curado rápido**

Cuando el disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC (Rapid Curing), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes.

#### **2.2.1.5.4 Asfaltos de curado medio**

Si el disolvente es querosene, se designa con las letras MC (Medium Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes.

#### **2.2.1.5.5 Asfaltos de curado lento.**

Su disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil y se designa por las letras SC (Slow Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes.



#### **2.2.1.5.6 Road oil**

Fracción pesada del petróleo usualmente uno de los grados de asfalto liquido de curado lento (SC).

#### **2.2.1.5.7 Asfaltos Emulsificados**

Las emulsiones asfálticas son una mezcla de asfalto con emulsificante que con el agua forman una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas "en frío", es decir, a temperaturas menores a 100°C.

Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles (no se *mezclan*), como son el asfalto y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador de superficie, tensoactivo o emulsificante de base jabonosa o solución alcalina, que mantiene en dispersión el sistema, siendo la fase continua el agua y la discontinua los glóbulos del asfalto, en tamaño, entre uno a diez micrones.

El asfalto es emulsificado en un molino coloidal con 40 - 50% por peso de agua que contiene entre 0.5 y 1.5% por peso de emulsificante. Permite la aplicación del asfalto donde no es posible calentar el material.

Cuando la emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio que la rompe, llevando a las partículas del asfalto a unirse a la superficie del agregado. El agua fluye o se evapora, separándose de las partículas pétreas recubiertas por el asfalto. Existen emulsificantes que permiten que esta rotura sea instantánea y otros que retardan éste fenómeno.

De acuerdo con la velocidad de rotura, las emulsiones asfálticas pueden ser: (ver Emulsiones Bituminosas)

- **De rompimiento rápido: RS** (*Rapid Setting*).



Forman una capa relativamente dura y principalmente se usan para aplicaciones en spray sobre agregados y arenas de sello, así como penetración sobre piedra quebrada; que por ser de alta viscosidad sirve de impermeabilizante.

- **De rompimiento medio. MS** (*Medium Setting*).
- **De rompimiento lento. SS** (*Slow Setting*).

Sirven especialmente para una máxima estabilidad de mezclado. Se las emplea para dar un buen acabado con agregados compactos y asegurar una buena mezcla estabilizada.

El tipo de emulsión a utilizar depende de varios factores, tales como las condiciones climáticas durante la construcción, tipos de agregados, etc.

Las emulsiones asfálticas deben tener una buena adherencia.

Esta cualidad la confiere el **emulsificante**, que puede darle polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de *aniónicas*, las primeras, afines a los áridos de cargas positivas y *catiónica*, las segundas, afines a áridos de cargas negativas; como son las de origen cuarzoso o silíceo.

En Costa Rica se producen las siguientes: *catiónica rápida y lenta*, *aniónica rápida y lenta*.

### 2.2.2 POLIMEROS.

Fredy, R (2003)

Son sustancias macromoleculares o sintéticas, obtenidas a partir de moléculas más sencillas por reacciones poliméricas. Por consiguiente, un polímero es un compuesto con elevado peso



molecular, cuya estructura se representa por la repetición de pequeñas unidades.

Los polímeros, una vez dispersos en el asfalto, llegan a formar verdaderas redes tridimensionales, creando un reticulado que confiere propiedades relevantes de elasticidad al asfalto modificado.

### **2.2.2.1 Tipos de polímeros**

Existen muchos tipos de polímeros, por lo que su dosificación y sistematización resultan muy complejas. Atendiendo a su estructura, se clasifican en:

#### **2.2.2.1.1 Polímeros Termoplásticos.**

Son solubles que se reblandecen con el calor y, de acuerdo con su intensidad, pueden llegar a fluir. Una vez enfriados, es posible moldearlos en repetidas ocasiones sin que pierdan sus propiedades. Por lo general, son polímeros lineales o ligeramente ramificados. Los termoplásticos más comunes son el polietileno, el polipropileno, el policloruro de vinilo el poliestireno, los copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA) y las poliamidas, entre otros.

##### **2.2.2.1.1.1 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 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%), 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 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.

#### **2.2.2.1.2 Polímeros Termo endurecibles.**

Se forma por la reacción química de los componentes: la base y el endurecedor, y dan lugar a una estructura entrecruzada, por lo que no pueden recuperarse para volver a transformarse. Entre las más comunes se encuentran las resinas fenólicas, las resinas epoxi, las resinas de poliéster y las resinas de poliuretano.

#### **2.2.2.1.3 Elastómeros o cauchos.**

Son polímeros lineales amorfos, por lo general insaturados. Sometidos a un proceso de vulcanización, adquieren una estructura parcialmente reticulada, la cual les confiere las propiedades elásticas. Los cauchos de uso más común son el caucho natural, los cauchos de butadieno-estireno (SBR), los cauchos de policloropeno y los elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS).

Los polímeros más utilizados para modificar los cementos asfálticos son el caucho natural (NR), los copolímeros



de etileno-acetato de vinilo (EVA) y los elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS).

### **2.2.2.2 Propiedades de los polímeros.**

Los materiales poliméricos, en función de su composición química, estructura (lineal, ramificada, entrecruzada), configuración espacial, estado de agregación, peso molecular, aditivos, etc., presentan un abanico de propiedades que hace prácticamente imposible su sistematización. Sin embargo, los polímeros tienen una serie de propiedades generales, que puedan considerarse comunes a todos ellos:

#### **2.2.2.2.1 Bajo peso específico.**

No presentan un peso específico considerable, el peso por unidad es menor a 0.3 gr

#### **2.2.2.2.2 Propiedades mecánicas.**

El comportamiento mecánico de los polímeros a temperaturas ambiente puede variar desde las características de un vidrio rígido y quebradizo, hasta la flexibilidad y elasticidad de una goma. Las características mecánicas de los polímeros se miden generalmente con ensayos de tracción, compresión, flexión, dureza, impacto, desgarro, etc. La mayor parte de los polímeros tienen un comportamiento reológico tipo visco elástico, lo cual hace que sus propiedades mecánicas dependan en gran medida del tiempo de duración de la carga. Si se aplica un esfuerzo constante, habrá una deformación inicial instantánea y una deformación de fluencia (más lenta). Si se mantiene la deformación constante, el esfuerzo necesario para producir dicha deformación disminuirá paulatinamente (relajación de esfuerzos).

#### **2.2.2.2.3 Influencia de la temperatura.**

La variación de la temperatura genera cambios en las propiedades de los polímeros, lo que limita su uso en cierto rango. La elevación de temperatura produce un rápido descenso de la



resistencia mecánica en los materiales termoplásticos, que comienza antes de su punto de ablandamiento, mientras que las temperaturas bajas lo hace más frágiles y quebradizos, con la consiguiente disminución de la resistencia a la tracción y al impacto. En los polímeros termoestables las propiedades mecánicas se mantienen en un mayor rango de temperatura, mientras que en los elastómeros, cuando baja la temperatura, se produce primero un aumento de la rigidez y finalmente, por debajo de la temperatura de transición vítrea, pierden su capacidad de deformación y se tornan frágiles. Se envejecen a temperaturas elevadas y en presencia de oxígeno, con la consiguiente pérdida de propiedades.

#### **2.2.2.2.4 Durabilidad.**

Se define como la capacidad que tiene todo material para mantener sus propiedades originales a lo largo del tiempo. Las alteraciones de las propiedades de los polímeros se producen por fatiga (aplicación repetida de esfuerzos) o por envejecimiento (acción del medio ambiente), aunque normalmente ambos factores actúan en conjunto. Los agentes que pueden dar lugar a cambios apreciables en las propiedades de los polímeros son los agentes atmosféricos (agua, ozono, oxígeno y humedad), la radiación solar y el calor, los microorganismos, los agentes químicos y la acción del tránsito. Los cambios generados por esos agentes dependerán del tipo del polímero, su composición y estructura química.

#### **2.2.2.3 Especificaciones Técnicas del Polímero EVA.**

"Tecnología de los plásticos", 21 de junio de 2012, Blog Tecnología de los Plásticos, volumen 1, 23 de octubre 201.

##### **2.2.2.3.1 Etileno – vinil- acetato (EVA)**

###### **Introducción**

El etilenvinilacetato (más conocido como EVA) es el copolímero de etileno y acetato de vinilo. El porcentaje en peso de





acetato de vinilo por lo general varía de 10 a 40%, siendo el resto etileno. Aunque en algunos casos, este porcentaje puede ser un tanto mayor (hasta un 75%), utilizados como suspensiones acuosas.

Se trata de un polímero que se acerca a los elastómeros en cuanto a la suavidad y flexibilidad, sin embargo, puede ser procesado al igual que los termoplásticos, por lo que este tipo de materiales recibe el nombre de elastómero termoplástico. El material tiene buena claridad y brillo, propiedades de barrera, resistencia a bajas temperaturas, la resistencia al estrés-cracking, propiedades de adhesivo hot-melt a prueba de agua, y resistencia a la radiación UV. El EVA tiene poco o ningún olor y compite con la goma y productos vinílicos en muchas aplicaciones eléctricas.

### Estructura química y síntesis

El copolímero etileno-vinil-acetato es un polímero de adición formado por unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo:

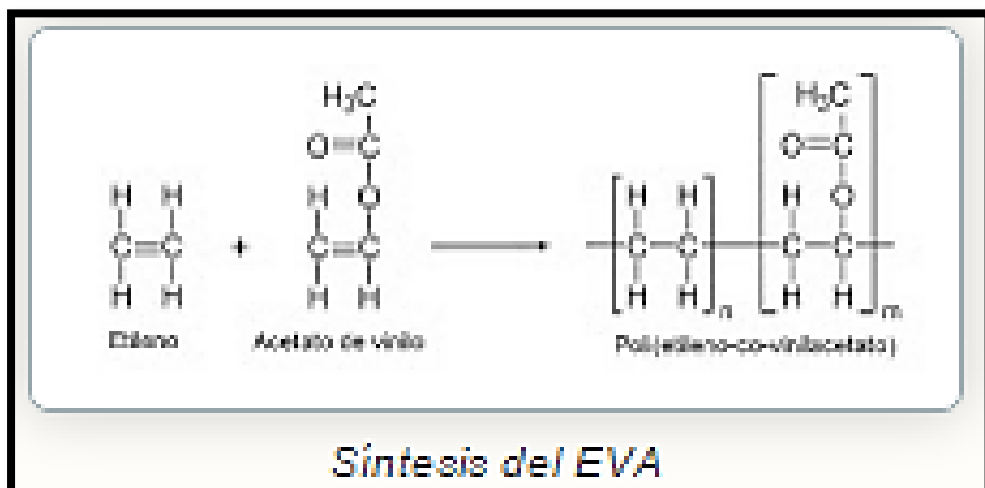


Figura N° 12: Composición Química del Polímero Eva.

**Fuente:** "Tecnología de los plásticos", 21 de junio de 2012, Blog Tecnología de los Plásticos, volumen 1, 23 de octubre 201.



La copolimerización del etileno y el vinil -acetato puede llevarse a cabo por los tres métodos siguientes:

1. Polimerización en emulsión.
2. Polimerización en solución.
3. Polimerización por alta presión

En la producción de EVA mediante polimerización en emulsión se obtienen productos que contienen de 40 a 70% en peso de acetato de vinilo copolimerizado. Los productos contienen residuos de emulsionante que no puede ser completamente eliminado. Por tanto, estos polímeros no son adecuados para muchas aplicaciones.

Por polimerización en emulsión también puede obtenerse EVA que contiene más de 75% en peso de acetato de vinilo. Es un proceso de presión media. Es llevado típicamente a cabo a presiones de 30 a 500 bares y a temperaturas de 20 a 100°C. Los copolímeros así obtenidos tienen un alto contenido de gel y no pueden ser procesados como caucho sólido para la mayoría de los propósitos. En consecuencia, estos polímeros generalmente no se aíslan en absoluto, en su lugar, la dispersión acuosa de sólidos (látex) se aplica directamente.

En el proceso de polimerización en solución para la producción de EVA se logra obtener productos libres de gel debido, por un lado, a una buena solubilidad de los productos a lo largo del proceso de polimerización y, por otro lado, una transferencia baja constante del disolvente a la cadena de polímero en crecimiento. En consecuencia, terc-butanol o mezclas de tert.butanol, metanol e hidrocarburos, por ejemplo, se utiliza como disolvente en el proceso de polimerización en solución para la producción de EVA que contiene más de 30% en peso de acetato de vinilo. Además, para la producción económica de EVA, la polimerización tiene que llevarse a cabo en altas concentraciones de sólidos en la que se



desarrollan viscosidades considerables. Los productos que contienen hasta un 75% en peso de acetato de vinilo se pueden obtener por polimerización en solución.

El EVA de bajo contenido de acetato de vinilo puede ser producido por polimerización en masa de alta presión. La polimerización se lleva a cabo generalmente bajo presiones de 1.000 a 3.000bares y a temperaturas de 150 a 280°C. Los productos obtenidos por este procedimiento, que tienen contenidos de acetato de vinilo de hasta 30% en peso, se puede usar como adhesivos termofusibles y como promotores de flujo para los aceites y combustibles (destilados medios del petróleo) y para el revestimiento de cables.

Al reactor de polimerización se le agrega una corriente controlada de comonomero vinil acetato (VA). Para llevar a cabo la reacción se utilizan autoclaves (también se pueden utilizar reactores tubulares) y agitación. Se prefieren autoclaves con alto contenido de VA (18%) con objeto de controlar mejor la variables críticas, como el peso molecular y el contenido de comonomero. Una diferencia importante entre el proceso común de producción del polietileno de baja densidad (LDPE) y el empleado para EVA es el sistema de terminación. Se requiere equipo especial para manipular el copolímero EVA, que es blando, de baja temperatura de fusión y frecuentemente pegajosos.

### **Propiedades y características.**

La incorporación del acetato de vinilo en el proceso de polimerización del etileno produce un copolímero con una cristalinidad más baja que la del homopolímero de etileno común, por lo tanto estas resinas de más baja cristalinidad tienen temperaturas de fusión y temperaturas de termo-sellado más baja, además de que se reduce la rigidez, resistencia a la tracción y dureza, son más transparentes, más flexibilidad a baja temperatura, mayor resistencia a la ruptura y al impacto, pero sus



propiedades a altas temperaturas son menores que las del LDPE, también son más permeables al oxígeno, al vapor agua y al óxido de carbono, la resistencia química es similar a la del LDPE, pero las resinas de EVA con mayor contenido de acetato de vinilo tienen una resistencia un poco mayor a los aceites y grasas.

**TABLA N° 4:**

<i>Propiedades típicas de EVA para adhesivos y recubrimientos.</i>			
<b>Propiedad</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Contenido de VA</b>	-	%	8
<b>Densidad</b>	ASTM D792	gr/cm <sup>3</sup>	0,925
<b>MFI</b>	ASTM D1238	gr/10min.	85
<b>Resistencia a la tracción</b>	ASTM D638	Kg/cm <sup>2</sup>	80
<b>Alargamiento a la rotura</b>	ASTM D638	%	400
<b>Fragilidad en frio</b>	ASTM D746	°C/F50	<-76
<b>Punto de ablandamiento Vicat</b>	ASTM D1525	°C	70
<b>Punto de fusión</b>	ASTM D3418	°C	96
<b>Dureza Shore A</b>	ASTM D2240	-	40

**FUENTE:** Producto EVATHENE UE508. Valores típicos para EVA utilizado en polvo para recubrimiento y adhesivo hot melt.

**TABLA N° 5:**

<i>Propiedades Típicas de EVA para inyección o extrusión.</i>			
<b>Propiedad</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Contenido de VA</b>	-	%	16
<b>Densidad</b>	ASTM D792	gr/cm <sup>3</sup>	0,937
<b>MFI</b>	ASTM D1238	gr/10min.	1,5



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Ataurima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

<b>Resistencia a la tracción</b>	ASTM D638	Kg/cm <sup>2</sup>	170
<b>Alargamiento a la rotura</b>	ASTM D638	%	700
<b>Fragilidad en frio</b>	ASTM D746	°C/F50	<-76
<b>Punto de ablandamiento Vicat</b>	ASTM D1525	°C	67
<b>Punto de fusión</b>	ASTM D3418	°C	89
<b>Dureza Shore A</b>	ASTM D2240	-	37

**Fuente:** Producto EVATHENE UE630. Valores típicos para EVA utilizado para moldeo por inyección, compresión (espumado), extrusión de lámina y perfil, soplado.

**Tabla N° 6**

*Propiedades típicas de goma EVA.*

<b>Propiedad</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad</b>	ISO 845	kg/m <sup>3</sup>	33±5
<b>Resistencia a la tracción</b>	ISO 1798	kPa	>190
<b>alargamiento</b>	ISO 1798	%	>230
<b>Resistencia a la compresión</b> deflexión 10% deflexión 25% deflexión 50%	ISO 3386/1	kPa	>12 >28 >70
<b>Remanencia a la compresión</b> 22 h de carga, 23 °C deflexión 25%  0.5 h tras descarga 24 h tras descarga	ISO 1856	% %	≤20 ≤8
<b>Conductibilidad térmica</b>  a 10 °C a 40 °C	DIN 52612	W/mK	0,035 0,039



<b>Ambito de temperatura de trabajo</b>	ISO 2796	°C	-40/+55
<b>Estabilidad Dimensional</b>	ISO 2796	%	<5
<b>Absorción de agua (28 días)</b>	DIN 53428	%	≤3
<b>Resistencia Eléctrica</b>	DIN 60093	Ωcm	≥10E15
<b>Dureza Shore</b>	ISO 868	-	>23
<b>Velocidad de combustión Horizontal</b>	FMVSS-302	mm/min	<100

**FUENTE:** Producto UNIFOAM® XV A- Todos los datos son promedios y deberían ser considerados sólo como guía.

### 2.2.2.3.2 Especificaciones Técnicas del Polímero SBS

El estireno-butadieno-estireno, frecuentemente abreviado SBS (del inglés Styrene-Butadiene-Styrene) es un elastómero termoplástico sintético obtenido mediante la polimerización de una mezcla de estireno y de butadieno. Es un caucho duro, que se usa para hacer objetos tales como suelas para zapatos, cubiertas de neumáticos, y otros donde la durabilidad sea un factor importante. Es un tipo de copolímero llamado copolímero en bloque.

#### Estructura química y síntesis

Como se dijo anteriormente el SBS es un copolímero en bloque. Su cadena principal está constituida por tres segmentos. El primero es una larga cadena de poliestireno, el del medio es una cadena de polibutadieno, y el último es otra larga sección de poliestireno.

#### Propiedades

El SBS pertenecen a la clase de elastómeros termoplásticos que poseen las propiedades mecánicas del caucho a temperatura ambiente y las capacidades de procesamiento de termoplásticos. La mayor parte de los cauchos son difíciles de procesar, porque están entrecruzados. El SBS y otros elastómeros termoplásticos son similares al caucho sin ser



entrecruzados, por lo que resulta sencillo procesarlos para lograr formas útiles. Punto de fusión 160-200°C (320-400°F).

El SBS ofrece un excelente coeficiente de fricción superficial, poca deformación permanente, una gran resistencia a la tracción, excelente comportamiento a bajas temperaturas, procesabilidad y buenas propiedades eléctricas.

**TABLA N° 7**

*Propiedades de SBS (VECTOR 8505)*

Propiedades del Polímero	Método de prueba	Unidad	Valores típicos (2)
Estireno	Método Dexco	% en peso.	29
Contenido Dibloque	Método Dexco	% en peso.	<1
Índice de fluidez (3)	ASTM D 1238	dg / min	12
Viscosidad en solución (4)	ASTM D 2196	cps	400
Volátiles	Método Dexco	% en peso.	0,4
Ceniza	ASTM D 1416	% en peso.	0,8
<b>Propiedades físicas</b>			
Resistencia a la tracción	ASTM D 412	PSI (MPa)	4800 (33.1)
Módulo	ASTM D 412	PSI (MPa)	530 (3.7)
Alargamiento a la rotura	ASTM D 412	%	1100
Dureza (5)	ASTM D 2240	Shore A	65
Peso específico	ASTM D 792		0.94

**FUENTE:** Producto EVATHENE UE630. Valores típicos para EVA utilizado para moldeo por inyección, compresión (espumado), extrusión de lámina y perfil, soplado.

1) Polímero en bloque estireno-butadieno-estireno lineal (VECTOR 8508 de Dexco Polymers LP, de la empresa Dow/ExxonMobil) Está diseñado para su uso como modificador de impacto / dureza de estirénicos y en la formulación de adhesivos.



- 2) Valores típicos, pensado sólo como guías. No debe interpretarse como especificaciones.
- 3) Estado de 200°C/5kg.
- 4) 25 % en peso en tolueno a 25°C.
- 5) 1 segundo de residencia.

## Usos

El SBS es muy adecuado para ser utilizado como material de sellado y un adhesivo en el proceso de fusión en caliente. También se utiliza ampliamente en aplicaciones como la fabricación de calzado, modificación de asfalto y lámina asfáltica, modificación de polímeros, materiales líquidos de sellado, capas o recubrimientos impermeables, cables eléctricos, componentes de automóviles, aparatos médicos, artículos de oficina y adhesivos.

### 2.2.3 Asfaltos Modificados.

Se presentan casos en las que las características de las mezclas asfálticas obtenidas con los cementos asfálticos convencionales no son capaces de resistir la acción conjunta del tránsito y del clima, por lo que resulta necesaria la utilización de ligantes modificados que presenten mejores propiedades reológicas, un mayor grado de adherencia, mayor resistencia al envejecimiento y menor susceptibilidad térmica.

Las mezclas asfálticas elaboradas con estos ligantes modificados presentan altos valores de *stiffness* a temperaturas altas de servicio, lo que disminuye el ahuellamiento, y bajos *stiffness* a temperaturas bajas, que reducen el riesgo de aparición prematura de fisuras. De igual manera, el grado de afinidad ligante-agregado en presencia de agua se mojará sustancialmente.

Algunas de estas propiedades pueden mejorarse mediante el empleo de ligantes más duros, pero estos reducirá su flexibilidad a





temperatura ambiente y proveerá al ligante de un mayor grado de fragilidad a temperaturas bajas.

Para mejorar las propiedades citadas sin producir efectos negativos secundarios, se están utilizando a escala mundial los cementos asfálticos modificados con polímeros. Con la utilización de los modificadores y aditivos, se puede lograr:

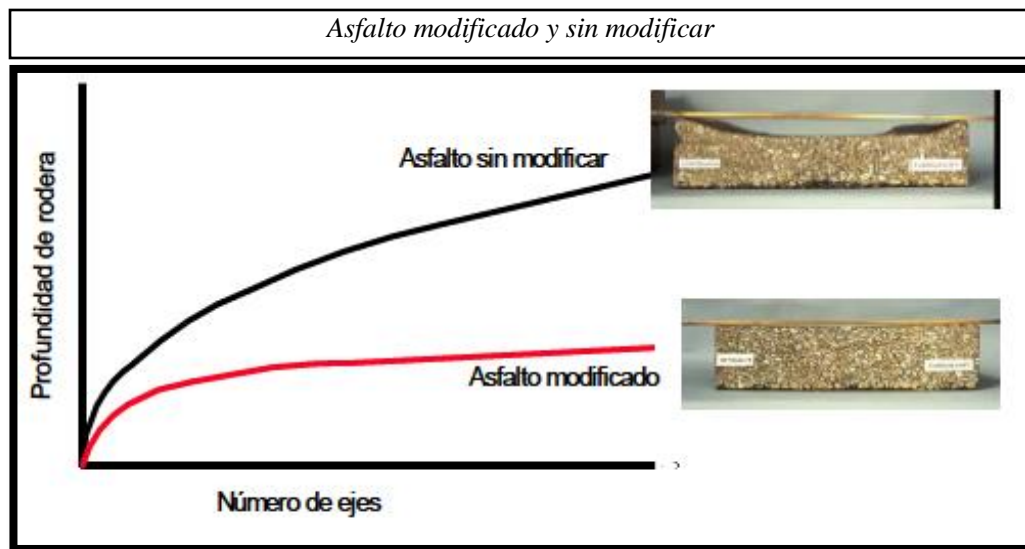
- Mejorar el stiffness del cemento asfáltico a temperaturas altas de servicio, reduciendo el riesgo de ahuellamiento.
- Obtener mezclas más flexibles a temperaturas bajas de servicio para minimizar la aparición de fisuras asociadas a cambios térmicos.
- Mejorar la resistencia a fatiga de las mezclas asfálticas.
- Mejorar la afinidad ligante-agregado pétreo, con el fin de reducir el riesgo de stripping o pérdida de adherencia.
- Mejorar la resistencia a la abrasión de las mezclas asfálticas.
- Rejuvenecer el cemento asfáltico.
- Minimizar los problemas durante el procesos de colocación y compactación de la mezclas asfáltica.
- Mejorar las características elásticas del cemento asfáltico.
- Permitir un mayor espesor de película de ligante alrededor de las partículas del agregado, con el propósito de aumentar la durabilidad de la mezcla.
- Reducir la probabilidad de exudación del cemento asfáltico.
- Disminuir los espesores de la estructura del pavimento.
- Mejorar el comportamiento general de toda la estructura del pavimento.

Una mezcla asfáltica ideal debe tener las siguientes características

- Baja rigidez o viscosidad a las temperaturas normales de manejo en planta y colocación en obra.
- Alta rigidez a las temperaturas altas de servicio para reducir el ahuellamiento.



- Baja rigidez y buenas características elásticas a temperaturas bajas de servicio para reducir el riesgo de la aparición de fisuras por cambios de temperatura.
- Buenas características adherentes en presencia de humedad, con el propósito de reducir el stripping.



**Figura N° 13:** Comparación Asfalto Modificado y sin Modificar.

**Fuente:** Ing. Javier Silva Burga, Departamento Técnico Tecnología de Materiales S.A.

En el pasado, algunas de estas propiedades se podían obtener con los cementos asfálticos tradicionales. Ahora, con el incremento del volumen del tránsito, el aumento de las sobrecargas de los vehículos pesados y la aparición de nuevos crudos, se necesitan modificadores y aditivos para obtener mezclas que cumplan con la mayor parte de estos requerimientos.

Debido a que el asfalto es el responsable del comportamiento viscoelástico de todos los materiales bituminosos, sus propiedades determinan muchos aspectos del comportamiento de las mezclas en las vías.

En un ensayo simple de creep, la deformación inducida por la carga aplicada muestra una respuesta instantánea elástica, seguida por un incremento gradual en la deformación hasta que se renueva. El cambio de la deformación con el tiempo se debe al



comportamiento viscoso del material. Cuando se remueve la carga, la deformación elástica se recupera instantáneamente; con el tiempo se presentan también una recuperación adicional que se conoce como elasticidad retardada. Al final queda una deformación permanente residual, que es irrecuperable, causada directamente por el comportamiento viscoso del material. Cuando se induce un pulso de carga en un material bituminoso la deformación permanente es pequeña, pero después de aplicar muchos millones de pulsos al pavimento se presenta una acumulación de deformación que se manifiesta en la superficie del pavimento. Por lo anterior, está clara la razón por la cual se presenta mayor deformación a temperaturas altas y donde el tráfico se mueve lentamente o es estacionario.

Uno de los principales objetivos de un asfalto modificado es aumentar la resistencia a la deformación en temperaturas de servicio altas, sin afectar adversamente las propiedades a otras temperaturas. Esto se puede lograr incrementando el stiffness del asfalto para que la respuesta viscoelástica total se reduzca y, por tanto, se presente una reducción en la deformación permanente, o aumentando la componente elástica del asfalto, y por tanto disminuyendo la componente viscosa, lo que origina también una reducción en la deformación permanente.

Se aconseja aumentar el stiffness del asfalto para incrementar el stiffness dinámico del concreto asfáltico, lo cual es importante donde se presentan deformaciones de tensión altas.

En los últimos años, varios investigadores han usado un amplio rango de modificadores para asfaltos empleados en la construcción de vías. Para que el modificador sea efectivo y pueda utilizarse por ser práctico y económico, debe estar a disposición, resistir la degradación a temperaturas de mezclado, mezclarse con el asfalto, mejorar la resistencia al flujo a



temperaturas de servicio altas, sin hacer que el asfalto se vuelva muy viscoso a temperaturas de mezclado y colocación o muy rígido a bajas temperaturas y tener un costo favorable. El modificador mezclado con el asfalto base debe mantener sus principales propiedades durante su almacenamiento, aplicación y servicio; poderse procesar con equipos convencionales, y alcanzar una viscosidad de cubrimiento o esparcimiento a temperaturas normales de aplicación.

### **2.2.3.1 Mecanismo de la modificación**

Un ligante modificado está constituido por dos fases distintas. Se consideran tres casos:

#### **2.2.3.1.1 Bajo contenido de polímero (inferior al 4%).**

En este caso, el bitumen constituye la fase continua en la que se dispersa la fase del polímero. A temperaturas de servicio elevadas (a eso de 60 °c), el módulo de la fase del polímero es sensiblemente superior al de la matriz que conforma la fase del bitumen, lo que le da a esta ultima la habilidad de reforzar mejorando la conducta mecánica. A temperaturas bajas el módulo de la fase dispersa es muy inferior al de la matriz, por lo cual disminuye notablemente la fragilidad. Por tanto, la fase de polímero dispersa mejora las propiedades a temperatura de servicio elevadas o bajas. En este caso la escogencia del asfalto es determinante.

#### **2.2.3.1.2 Contenido del polímero elevado (superior al 7%).**

Como regla general, si el bitumen y el asfalto se seleccionan de manera conveniente, el porcentaje de polímero es suficientemente elevado por que la fase del polímero constituye la matriz del sistema. En este caso no se tiene un bitumen, sino un polímero plastificado por los aceites del bitumen en los que se encuentran dispersos los fragmentos más pesados del ligante base. Las propiedades de este sistema son diferentes las de un bitumen, y dependen de las de los polímeros.



#### **2.2.3.1.3 Contenido del polímero del 5%, aproximadamente.**

En este caso, se obtienen microestructuras en las que las dos fases son continuas. Estos sistemas son difíciles de controlar y tiene problemas de estabilidad (su micro morfología y sus propiedades dependen a menudo de sus condiciones térmicas recientes).

La técnica de microscopía óptica de fluorescencia por reflexión permite visualizar las microestructuras a un factor de escala grande que esta generalmente alrededor de 250. En estas condiciones de observación la fase del polímero aparece en claro, mientras que la del bitumen se ve en negro.

#### **2.2.3.2 Modificación de asfaltos con elastómeros termoplásticos.**

Los cauchos termoplásticos o copolímero en block, de tipo SBS (estireno-butadieno-estireno) o SIS (estireno-isopreno-estireno) se caracterizan por comportarse como polímeros lineales durante su procesamiento en caliente y como un caucho vulcanizado a temperatura ambiente. En esencia son un sistema de dos fases, con los bloques de poliestireno asociados en dominios incorporados en una matriz de caucho butadieno o isopreno. Cuando el polímero se dispersa en el asfalto caliente, los dominios de poliestireno se ablandan y pueden disolverse parcial o completamente. De esta manera el polímero produce una mezcla d comportamiento viscoso a alta temperatura. Por enfriamiento, los bloques de poliestireno se asocian actuando como reticulantes de los bloques de elastómeros dispersos, confiriéndole al asfalto propiedades elásticas, similares a las de un caucho vulcanizado.

De los cuatro grupos principales de elastómeros termoplásticos, los copolímeros de bloques de estireno son los que han mostrado mayor potencial para producir asfaltos modificados. Los cauchos termoplásticos, pueden producirse por una operación secuencial de sucesivas polimerizaciones de estireno-butadieno-



estireno (SBS) o estireno-isopreno-estireno (SIS).se pueden producir copolímeros lineales, pero también en forma de estrella, radiales o ramificados

Los cauchos termoplásticos derivan su resistencia y elasticidad de su configuración ligada cruzada de las moléculas en una red en tres dimensiones. Esto se alcanza por aglomeración de los bloques finales de poliestireno en dominios separados, constituyendo la estructura ligada cruzada para una matriz tridimensional de polibutadieno o de polisopreno. Los bloques finales de poliestireno son los que le dan al polímero su resistencia y los bloques centrales los que le proporcionan al material su excepcional elasticidad.

La adición de cauchos termoplásticos a un asfalto, con un peso molecular igual o mayor que el de los asfáltenos, altera la fase de equilibrio. El polímero y los asfáltenos compiten por el solvente de la fase de los máltenos, y si no hay suficientes máltenos, tarde o temprano, durante la mezcla o en servicio, habrá segregación de los asfáltenos o del polímero. Para remediar esta situación se debe adicionar aceite cuidadosamente, ya que la naturaleza del aceite líquido, que es bien absorbido por el polímero, incide en las propiedades finales de la mezcla. El uso de un aceite con un grado de aromaticidad muy alto llevara a que se disuelvan los bloques finales de poliestireno y a inhibir la formación de la estructura de dominio que se necesita para endurecer la mezcla cuando vuelva a estar en temperaturas de servicio.

El polímero mejora mucho la elasticidad del asfalto y de esa características se deriva otros beneficios de uso. También hay un aumento en la viscosidad, lo que se traduce en una reducción de la penetración y en el incremento del punto del ablandamiento. La combinación de asfalto y de polímero se debe seleccionar teniendo en cuenta las características de desempeño del pavimento.



La incorporación de un polímero a un asfalto es un proceso complejo. En general puede decirse que, en una primera etapa, el polímero se dispersa en la masa del betún pero sin ejercer efectos significativos sobre sus propiedades. Posteriormente las partículas del polímero absorben aceites de los máltenos, hinchándose de una manera notable, para dispersarse luego en forma molecular; en esta etapa tienen lugar los cambios reológicos más significativos sobre el asfalto. La composición de los asfaltos tiene una importancia decisiva en las propiedades de los asfaltos modificados, sobre todo en lo que concierne a la aromaticidad de los máltenos y al contenido de asfáltenos. Cuando menor sea el contenido de asfáltenos de un asfalto, tanto más compatible será dicho asfalto con el polímero.

La buena dispersión del elastómero termoplástico depende primeramente del índice de corte que aplique la mezcladora que se emplee en la elaboración del asfalto modificado. Cuando se añade el polímero, el asfalto penetra inmediatamente en las partículas del polímero, haciendo que los dominios de estireno se disuelvan y se hinchen. Una vez que eso ocurra, el nivel de corte aplicado en las partículas hinchadas es crítico si se pretende alcanzar una dispersión satisfactoria dentro de un periodo de mezcla razonable. Por eso, para lograr que el polímero se disperse adecuadamente en el asfalto base, se requiere que se mezclen a niveles medios o altos de corte. La temperatura a la cual se mezclan el polímero y el asfalto base está limitada por la temperatura a la que se degrada el polímero. El proceso ideal para la mezcla se será aquel que se realice a menor temperatura posible en menor tiempo posible.

#### **2.2.4 Diseño de mezclas asfálticas en caliente (\*)**

Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22.

##### **2.2.4.1 Introducción.**

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las

---



proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Ellos son el método Marshall y el Método Hveem. En el presente estudio sólo trataremos el método Marshall.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es, principalmente, asuntos de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios.

#### **2.2.4.2 Características y comportamiento de la mezcla.**

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

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

##### **2.2.4.2.1 DENSIDAD.**

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al





multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

#### **2.2.4.2.2 VACIOS DE AIRE (o simplemente vacíos)**

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

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad



que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 %.

### 2.2.4.2.3 VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL

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

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

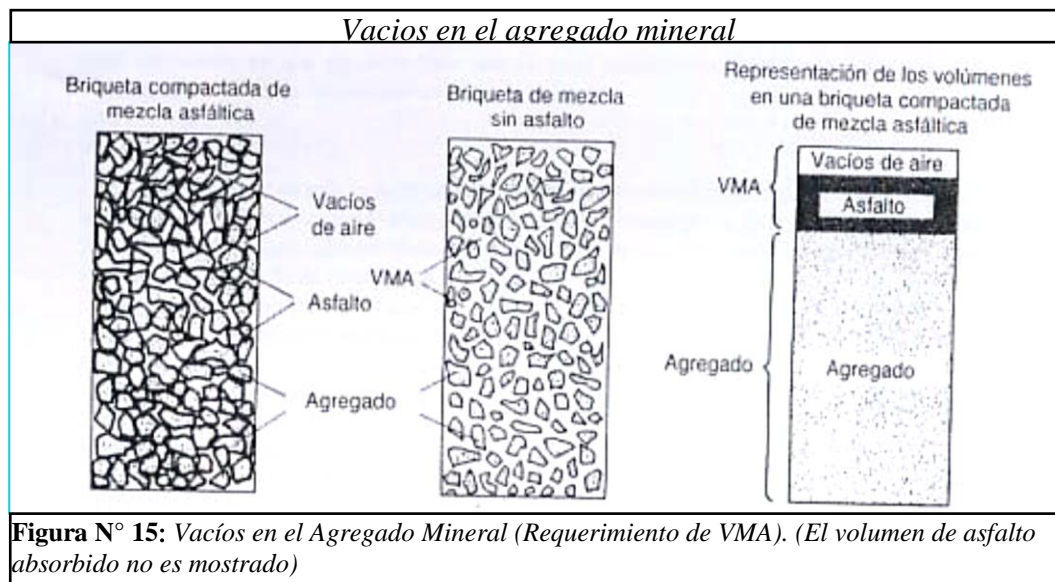
Cuanta más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla. La fig. 12 ilustra el concepto de VMA y la fig. 13 presenta los valores requeridos.

Tamaño Máximo en mm Porcentaje		VMA mínimo, por ciento		
mm	in.	Vacíos de Diseño, por ciento <sup>2</sup>		
		3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

<sup>1</sup> Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M 92)  
<sup>2</sup> El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas de 10 por ciento del material.  
<sup>3</sup> Interpola el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

**Figura N° 14:** Ilustración del VMA en una probeta de Mezcla Compactada.

**FUENTE:** Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 54 del Asphalt Institute MS-22



**Fuente:** Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22

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

#### 2.2.4.2.4 CONTENIDO DE ASFALTO

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

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



del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (Nº 200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará.

En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

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



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

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

#### **2.2.4.3 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS**

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

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

##### **2.2.4.3.1 ESTABILIDAD.**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla



ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. **Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.**

**La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna.** La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

**En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.**

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclar más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

**La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico).** La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. **Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.** Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una



película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

**TABLA N° 8.**

*Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento.*

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

**Fuente:** Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 66 del Asphalt Institute MS-22.

#### 2.2.4.3.2 DURABILIDAD

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

***Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.***

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos



interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

**TABLA N° 9**

*Causas y Efectos de una poca durabilidad.*

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

**Fuente:** Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 67 del AsphaltInstitute MS-22

### 2.2.4.3.3 IMPERMEABILIDAD

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. *Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la*





*mezcla compactada*, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

**TABLA N° 10**

*Causas y efectos de la Permeabilidad.*

<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

**Fuente:** Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 67 del AsphaltInstitute MS-22.

#### **2.2.4.3.4 TRABAJABILIDAD**

*La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada.* Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.



Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano., partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.



**TABLA N° 11**

*Causas y efectos de problemas en la Trabajabilidad.*

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

**Fuente:** Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 68 del AsphaltInstitute MS-22

#### **2.2.4.3.5 FLEXIBILIDAD**

***Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante.*** La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

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

#### **2.2.4.3.6 RESISTENCIA A LA FATIGA**

***La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito.*** Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. ***A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento***



***umenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye.*** Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

**TABLA N° 12**

*Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.*

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

**Fuente:** Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Cap.3, pág. 69 del AsphaltInstitute MS-22

#### **2.2.4.3.7 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO**

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie este mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda



normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

**TABLA N° 13**

*Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.*

<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropilano
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

**Fuente:** Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 70 del AsphaltInstitute MS-22.

#### **2.2.4.4 METODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS-DESCRIPCION**

A continuación se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el Diseño Marshall de Mezclas. El procedimiento completo y detallado que se debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

##### **2.2.4.4.1 PREPARACION PARA EFECTUAR LOS PROCEDIMIENTOS MARSHALL.**

Como ya se discutió en el capítulo de materiales, diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo



sobre la naturaleza misma le pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

- **SELECCION DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL**

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que va a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las el asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinar la fórmula o "receta" para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

- **PREPARACION DEL AGREGADO**

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio.

En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos



incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

• ***Secando el Agregado***

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos.

Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a una temperatura de 110° C (230°F).

Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa y, se registra su valor.

La muestra se calienta completamente una segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

• ***Análisis granulométrico por vía húmeda***

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

1. Cada muestra de agregado es secada y pesada.
2. Luego de cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075 mm (Nº 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.



3. Las muestras lavadas son secadas siguiente el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
4. El peso seco de cada muestra es registrado. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
5. Para obtener pasos detallados del procedimiento referirse a la norma AASHTO T 11.

• **Determinación del Peso Específico**

El peso específico de una sustancia es la proporción peso - volumen de una unidad de esa sustancia comparada con la proporción peso - volumen de una unidad igual de agua.

El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo, una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca del agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

• **Preparación de las muestras (probetas) de ensayo**

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





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

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

1. El asfalto y el agregado se calientan completamente hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

2. Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

3. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación.

El número de golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente un total de 70 golpes.

Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

#### **2.2.4.4.2 Procedimiento de ensayo Marshall**

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

- **Determinación del Peso Específico-Total**

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-



vacíos. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 166.

- **Ensayo de Estabilidad y Fluencia**

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

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

1. Las probetas son calentadas en el baño de agua a 60° C (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 de un dispositivo que aplica a una carga sobre la probeta 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 la muestra 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 probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de 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 será 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 durabilidad.*

- **Valor de fluencia marshall.**

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

*Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.*

- **Análisis de densidad y vacíos**

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de Probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

- **Análisis de vacíos.**

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto



absorbido por el agregado, o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 2091) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y en agua.

- **Análisis de Peso Unitario**

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 Kg/m<sup>3</sup> (62.4 lb/ft<sup>3</sup>).

- **Análisis de VMA**

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, está definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

- **Análisis de VFA**

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire de VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje

### **2.2.5 Normas Técnica.**

Obras de rehabilitación, mejoramiento y construcción de carreteras, el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, aprobado por Decreto Supremo N° 034-2008-MTC, tiene, entre otros objetivos, definir las pautas para las normas técnicas de diseño,



construcción y mantenimiento de carreteras, caminos y vías urbanas; Que, en el Numeral 4.1, del artículo 4° de dicho reglamento, se precisa que este Ministerio, a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial, fiscalizar su cumplimiento, e interpretar las normas técnicas contenidas en el citado reglamento.

Que, de otro lado, el artículo 57° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, ha establecido que la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles es un órgano de línea, de ámbito nacional, encargado de normar sobre la gestión de la infraestructura de caminos, puentes y ferrocarriles, así como de fiscalizar su cumplimiento.

Asimismo, el artículo 60° de dicho reglamento ha previsto que la Dirección de Normatividad Vial, es la unidad orgánica encargada de la formulación de normas técnicas y administrativas para la gestión de infraestructura de caminos; Que, en el ejercicio de tales funciones previstas, la Dirección de Normatividad Vial formuló el documento técnico denominado "Glosario de Partidas" aplicables a obras de rehabilitación, mejoramiento y construcción de carreteras y puentes, como una herramienta dirigida a estandarizar y ordenar el uso de las partidas en los presupuestos de proyectos viales, y facilitar, consecuentemente, la elaboración de los metrados, costos, presupuestos y otros, tanto de los estudios de pre inversión y definitivos, como de los expedientes técnicos y demás documentación técnica y contractual pertinente.

Que, por Memorándum (M) N° 009-2012-MTC/02, de fecha 25.01.2012, el Viceministro de Transportes designó a un Grupo de Trabajo integrado por profesionales de: la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, PROVIAS NACIONAL, PROVIAS DESCENTRALIZADO y la Dirección General de Concesiones en Transportes, para encargarse de la revisión y complementación de dicho documento normativo.



## 2.2.5.1 Normatividad aplicado a los agregados

**TABLA N° 14:**

*Normas AASHTO y ASTM aplicables para los agregados.*

AASHTO	ASTM	Descripción del ensayo
AASHTO T 2	ASTM D 75	Muestreo del agregado mineral.
	ASTM C 128	Ensayo de Densidad, Densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de agregados finos.
	ASTM C 127	Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos.
AASHTO T 27	ASTM C 136	Análisis granulométrico de los agregados.
AASHTO 11	ASTM C 117	Análisis granulométrico de los agregados finos.
AASHTO 176	ASTM D 2419	Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregado fino.
AASHTO T 96	ASTM C 131	Ensayo a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la Máquina de los Ángeles.

Fuente: AVELLÁN M (2010)

### 2.2.5.1.1 Normatividad aplicada para asfaltos modificados.

**TABLA N° 15**

*Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos Modificados.*

ENSAYO	AASHTO	ASTM
Viscosidad cinemática a 135°C	T - 201	D - 2170
Viscosidad dinámica a 60°C	T - 202	D - 2171
Penetración	T - 49	D - 5
Recuperación Elástica por Torsión	*****	*****
Prueba de Película Delgada en Horno	T - 179	D - 1754
Prueba Giratoria de Película Delgada en	T - 240	D - 2872
Viscosidad Rotacional Tipo Haake	*****	D - 4402
Recuperación Elástica por Ductilómetro	*****	D - 6084
Resiliencia a 25°C	*****	D - 3407
Gravedad Especifica	T - 228	D - 70
Punto de Ablandamiento	T - 53	D - 3695

Fuente: AVELLÁN M (2010) Asfalto modificados con polímero.



### **Viscosidad ASTM D 2171 (Viscosidad de asfalto por viscosímetro capilar de vacíos)**

Las especificaciones de los trabajos de pavimentación indican valores de viscosidad a temperatura de 60°C (140°F), son utilizadas para clasificar el cemento asfáltico, representan la viscosidad de este a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio. La viscosidad a 135°C (275°F) corresponde aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas, ayuda a determinar si es apropiado o no para el pavimento que se está diseñando. El poise (P) es la unidad normal de medida.

### **Penetración ASTM D 5 (Penetración de materiales bituminosos)**

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean utilizados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). Es aplicable a materiales con viscosidades dentro de un rango de 0.0036 a 20,000 Pascales por segundo (Pa \* s), equivalente a 0.036 a 200,000P.

### **Punto de inflamación ASTM D 92 (Punto de inflamación para materiales bituminosos)**

Es la temperatura más baja a la cual se separan los materiales volátiles de la muestra y crean un destello en presencia de una llama abierta.

Es importante hacer notar que punto de inflamación no es lo mismo que punto de combustión (temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema). Se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame.



El aparato utilizado con este fin es llamado Copa Abierta de Cleveland. Es importante conocer esta información, ya que el cemento asfáltico es calentado durante su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficientemente baja para que el material puede ser bombeado.

**Prueba de película delgada en horno (TFO) ASTM D 1754 (Efectos de calor y aire en materiales asfálticos) y Prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO) ASTM D 2872 (Efectos de calor y aire en una película en movimiento de asfalto).**

Son procedimientos que exponen una muestra de cemento asfáltico, a condiciones que aproximen a las que se dan durante las operaciones en las plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material durante la construcción y servicio del pavimento.

**Ductilidad ASTM D 113 (Ductilidad de materiales bituminosos)**

Es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. Se obtiene mediante una prueba de extensión, en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y a una temperatura específica, hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa.

La longitud del hilo en el momento de corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad.

Las condiciones establecidas para la realización de este ensayo son: una temperatura de  $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y a una velocidad de 5 cm. /min.





### **Solubilidad ASTM D 2042 (Solubilidad de asfaltos en tricloroetileno)**

Este ensayo es utilizado para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos no se disuelven sino que se depositan en forma de partículas. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como un porcentaje de la muestra original.

### **Peso específico ASTM D 70 (Densidad de materiales bituminosos semisólidos).**

Es la proporción de la masa de cualquier volumen de material a la masa de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada.

El peso específico es determinado generalmente usando el método del picnómetro. Los resultados para el asfalto, como para el agua, se expresan normalmente en términos de peso específico a una temperatura dada. Esto se debe a que este varía con la expansión y la contracción del cemento asfáltico a diferentes temperaturas.

Existen dos razones importantes por las que se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

**a.** El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando se enfría. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura – volumen.

**b.** El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado.



### **Punto de ablandamiento ASTM 3695 (Anillo y bola)**

Proporciona una relación de dureza del asfalto (duro o blando).

Para realizar este ensayo, una pelotita de acero es colocada en el centro de un anillo de acero, el cual es sumergido en un baño de agua o de glicerina.

Se utiliza agua cuando el asfalto posee un punto de ablandamiento es mayor a 80°C y la glicerina es utilizada cuando el punto de ablandamiento es mayor a 80°C. La temperatura del baño debe estar controlada y aumentar a una tasa de 5°C por minuto. En el momento en que la pelotita toca la base (25 mm por debajo del anillo) la temperatura es tomada y este, es el punto de ablandamiento del asfalto.

### **Resiliencia ASTM D – 3407 (Método de prueba estándar para selladores de juntas, concreto y pavimentos asfálticos)**

Al igual que la anterior determina la elasticidad y dureza que presentan los cementos asfálticos. Para llevar a cabo esta prueba se utiliza el Penetrómetro usado para la prueba de penetración, con la única diferencia de que la aguja utilizada para la prueba es sustituida por la aguja de resiliencia.

### **Recuperación elástica por ductilómetro ASTM D 6084.**

La recuperación elástica de un material se determina mediante la tensión recobrada, después de alargar severamente el espécimen de muestra del material. Este se estira a una distancia, velocidad y temperatura específicas. A menos que se determine otra cosa la prueba debe realizarse a una temperatura de  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  y una velocidad de  $5 \pm 5$  cm. /min.

## **2.2.6 Definición de términos básicos.**



**Asfalto.-** Es una sustancia negra, pegajosa, solida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad.

**Mezcla asfáltica.-** Es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc.

**Emulsiones asfálticas.-** Son una mezcla de asfalto con emulsificante que con el agua forman una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas "en frío", es decir, a temperaturas menores a 100°C.

Debido al mecanismo de fraguado, estas emulsiones comúnmente no logran una estabilidad aceptable con el agregado pétreo del asfalto, por ello son aplicables principalmente a caminos secundarios en los que la carga vehicular no es regular ni posee alto peso.

**Polímero.-** Es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización.

**Elastómero.-** Son plásticos con un comportamiento elástico que pueden ser deformados fácilmente sin que se rompan sus enlaces o modifique su estructura.

**Adhesivos.-** Son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial.

**Plastómero.-** Rigidizan el estado ofreciendo resistencia, como consecuencia no son deformables elásticamente.



**Polietileno.-** Este polímero no tiene alta compatibilidad con el asfalto no le confiere propiedades espectaculares, pero se usa ya que es un componente de bajo costo y soluciona un problema ecológico.

**SBS.-** Estireno-Butadieno-Estireno modificador que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas.

**SB.-** Estireno-Butadieno modificador para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos.

**Concreto Asfáltico.-** Se caracteriza por reducir la deformación permanente, mayor resistencia a la fatiga, uso de capas más delgadas y mejor resistencia a la post – compactación.

**Termoplástico.-** Son aquellos que tras ablandarse o fundirse por efecto del calor, recuperan sus propiedades originales luego de enfriarse.

**Fisura.-** Fractura fina, de vario orígenes con un ancho igual o menor a 3 milímetros.

**Grieta.-** Fractura de variados orígenes, con un ancho mayor a 3 milímetros, pudiendo ser en forma transversal o longitudinal al eje de la vía.

**Bitumen.** El betún o bitumen es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, completamente soluble en disulfuro de carbono y compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos policíclicos. El betún es la fracción residual resultante de la destilación fraccionada del petróleo.

**Stiffness.** Se entiende como el estado de Rigidez presente en el asfalto, comportamiento que se daría ante cargas, cambio de temperatura.

**Stripping.** Es la propiedad que tienen los elementos de perder adherencia.



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y  
SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Ataurima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

---

## **CAPÍTULO III:**

# **MARCO METODOLÓGICO**

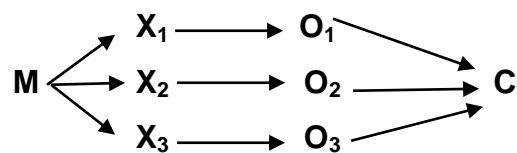


### 3.1 Tipo y diseño de la investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación.

Cuantitativo – cuasi experimental

#### 3.1.2. Diseño de la investigación



Fuente: Elaboración Propia

M: Muestra.

X<sub>1</sub>: Convencional.

X<sub>2</sub>: Polímero (SBS).

X<sub>3</sub>: Polímero (EVA).

O: Observación.

C: Comparación de propiedades mecánicas y dinámicas.

### 3.2 Población y muestra.

La población son los pavimentos flexibles y la muestra es mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS y EVA la cual se realizó 30 briquetas por asfalto convencional y 60 para cada polímero (SBS y EVA) con un total de 150 briquetas utilizando el ensayo de Marshall que sirvió para determinar su estabilidad y fluencia comparativamente.

### 3.3 Hipótesis.

La utilización de polímeros (EVA) y (SBS) mejorará considerablemente las propiedades mecánicas en el diseño de mezclas asfálticas convencionales en caliente.



### 3.4 Variables

#### a) Variable Dependiente:

##### **Asfalto**

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

En su constitución química el asfalto básicamente está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxigeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es diluido en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

##### **Mezcla asfáltica.**

Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

#### b) Variable Independiente: Polímeros EVA y SBS

##### **Polímeros EVA y SBS**

Son sustancias macromoleculares o sintéticas, obtenidas a partir de moléculas más sencillas por reacciones poliméricas. Por con siguiente, un polímero es un compuesto con elevado peso molecular, cuya estructura se representa por la repetición de pequeñas unidades.

Los polímeros, una vez dispersos en el asfalto, llegan a formar verdaderas redes tridimensionales, creando un reticulado que confiere propiedades relevantes de elasticidad al asfalto modificado.



### 3.5 Operacionalización de variables

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES						
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	TECNICA	INSTRUMENTACION	
					Instrumento de recolección de información	Instrumento de medición
<p><b>V. DEPENDIENTE.</b> <b>ASFALTO</b></p> <p>El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. En su constitución química el asfalto básicamente está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es diluido en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.</p>	ESTRUCTURAL	Viscosidad	poise (P)	Observación y analisis de documento	Guia de observación	Viscosimetro
		Penetración	Pa/seg.	Observación y analisis de documento	Guia de observación	Equipo de Penetración
		Punto de Inflamación	T°	Observación y analisis de documento	Guia de observación	Copa Abierta de Cleveland
<p><b>MEZCLAS ASFALTICAS</b></p> <p>Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.</p>	—	PESO ESPECIFICO, FLUJO.	TEMPERATURA-VOLUMEN	Observación y analisis de documento	Guia de observación	METODO DE MARSHALL
<p><b>V. INDEPENDIENTE.</b> <b>Polímeros EVA y SBS</b></p> <p>Son sustancias macromoleculares o sintéticas, obtenidas a partir de moléculas más sencillas por reacciones poliméricas. Por consiguiente, un polímero es un compuesto con elevado peso molecular, cuya estructura se representa por la repetición de pequeñas unidades. Los polímeros, una vez dispersos en el asfalto, llegan a formar verdaderas redes tridimensionales, creando un reticulado que confiere propiedades relevantes de elasticidad al asfalto modificado.</p>	Porcentaje %	-----	-----	Observación y analisis de documento	Guia de observación	METODO DE MARSHALL





### **3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1 Método de Investigación**

##### **Deductivo**

Una vez definido la variables independiente y dependiente y sus respectivos indicadores, se inició con los procedimientos respectivos en cuanto a la hipótesis para un adecuado diseño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS y EVA, que está basada en agregar porcentajes de polímeros a la mezcla asfáltica.

##### **Analítico**

El presente trabajo se realizó mediante el método de análisis de resultados. Se indagó diferentes teorías, conceptos y resultados del uso de polímero agregando al diseño de pavimentos convencionales. Ayudándonos como referencia para nuestra investigación, la norma técnica de asfaltos convencionales y modificados.

#### **3.6.2 Técnicas de La Investigación**

##### **Observación**

La técnica que se utilizó es la de observación de los resultados de muestras obtenidas en los ensayos de laboratorio.

##### **Ensayos**

Se realizó diversos ensayos en el laboratorio de la Universidad Señor de Sipán. En cada ensayo se tomó fotografías como muestra de identificación del ensayo correspondiente. Estos serán los ensayos que se realizaran:

##### **Agregados Pétreos**

- Peso Específico y Absorción de los Agregados Finos. ASTM C 128 (AASHTO T 84).
- Peso Específico y Absorción de los Agregados Gruesos ASTM C 127 (AASHTO T 85).



- Análisis Granulométrico de los Agregados Gruesos y Finos. ASTM C 136 (AASHTO T 27).
- Equivalente de Arena de Agregados Finos ASTM D 2419.
- Resistencia a la Abrasión de los Agregados Gruesos AASHTO T 96 (ASTM C 131).
- Límite Líquido, Límite Plástico E Índice Plástico ASTM D 4313 - AASHTO T 89.

### **Asfalto.**

- Índice de Penetración de Cementos Asfálticos ASTM D 5 (AASHTO T 49)

### **Briquetas**

- Elaboración de Briqueta NORMA MARSHALL.
- Gravedades Específicas
- Gsb (Gravedad Específica de los Agregados)
- Gmm ( Gravedad Específica Teórica Máxima Medido)
- Gb (Gravedad Específica del Asfalto)
- Mezcla Asfáltica en Caliente Convencional. NORMA MARSHALL.
- Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada con Polímero SBS y EVA
- Desgaste de Briquetas Mediante Maquina de los Ángeles de Mezcla Asfáltica en Caliente Convencional.
- Desgaste de Briquetas Mediante Maquina de los Ángeles de Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada con Polímero SBS Y EVA.

### **Análisis de documentos**

Con esta técnica, se obtuvo información mediante el estudio de documentos que contienen datos, símbolos, procedimientos (diagramas de flujo), etc.

Normas ASTM para asfaltos modificados:

ASTM D 2171

ASTM D 1754

ASTM D 113



ASTM D 2042

ASTM D 70

ASTM D 3675

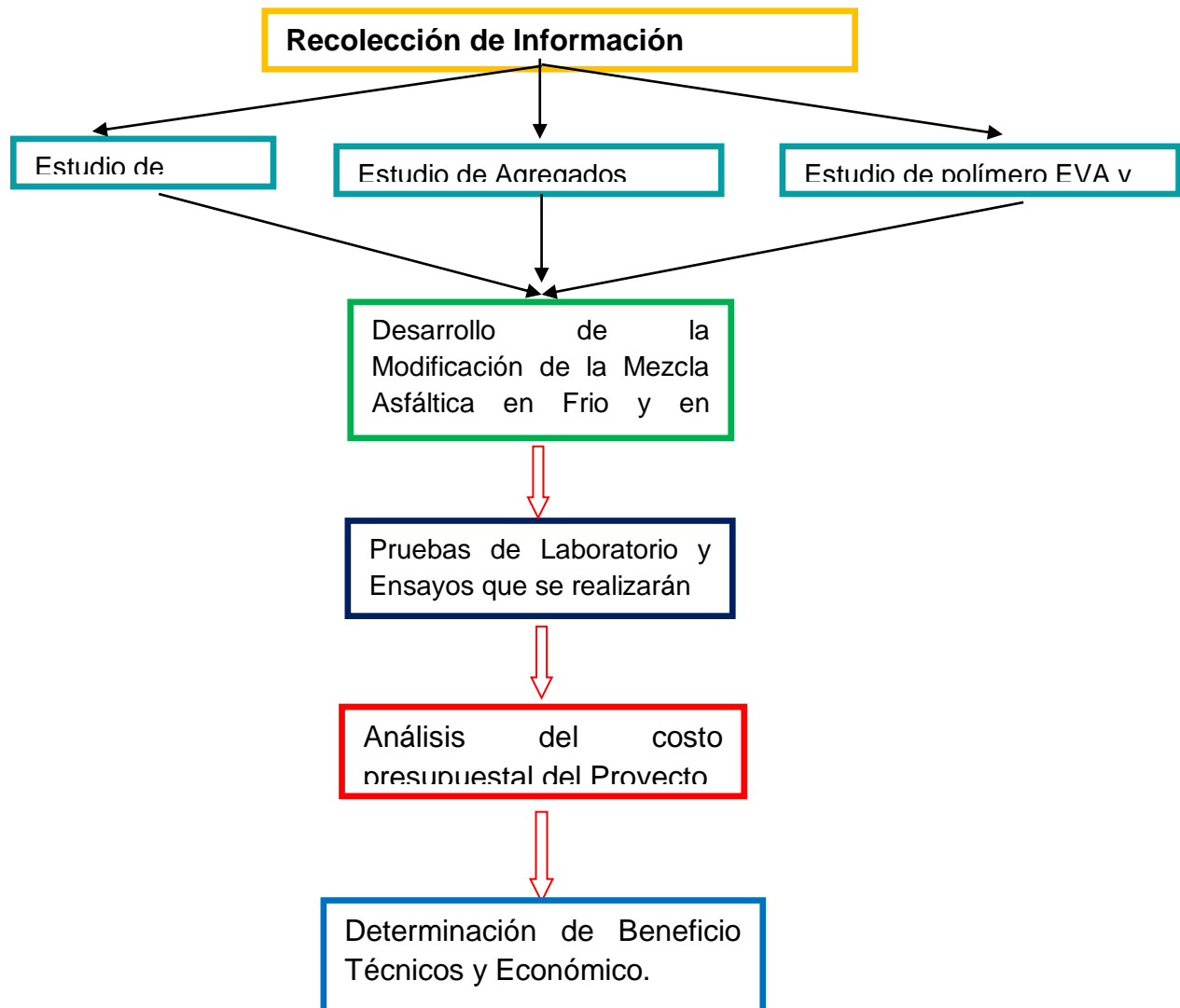
ASTM D 3407

ASTM D 6084

### **Inductivo**

Porque después de haber conocido el desarrollo teórico de la presente investigación que implicó en el proceso de estudio de asfalto y agregados pétreos y a la vez otros complementarios, se dio inicio a una adecuada modificación de la mezcla asfáltica superponiendo porcentaje de polímeros.

### **3.7 Procedimiento de recolección de Datos.**





### **3.7.2 Descripción del Procedimientos.**

#### **3.7.2.1 Recolección de la Información Disponible**

Consistió en la recolección de la información disponible de estudio realizados, de las entidades respectivas como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Tesis, artículos Científicos, entre otros relacionados con la presenta investigación.

#### **3.7.2.2 Estudio de Agregados Pétreos**

En este estudio de los agregados pétreos de que se utilizó, se encuentran ubicados en la cantera "**La Pluma –del Gobierno Regional de Lambayeque**"; está relacionado principalmente en determinar las características y el peso específico bruto, el peso específico aparente y a la absorción.

Estos agregados serán sometidos a las pruebas propuestas por la norma ASTM que determinara el buen comportamiento dentro de la mezcla asfáltica.

#### **3.7.2.3 Estudio de asfaltos.**

Este estudio consto en realizar diferentes pruebas que determinara el modo de reacción de esta para obtener una mezcla óptima y de buenas condiciones para utilizarla como alternativa de solución ante los problemas que se dan en la actualidad.

En este estudio el asfalto que se utilizo es de la planta "La Pluma - Lambayeque". Que de acuerdo con la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos se dan los grados de asfaltos recomendados para diferentes condiciones variadas de temperatura.



**TABLA N° 16:**

*Rangos de penetración en asfaltos.*

<b>Condición de temperatura</b>	<b>Grados de asfalto</b>
Frio, temperatura media anual del aire $\leq 7$ °C	PEN 120/150, 85/100
Templado, temperatura media anual del aire entre 7 °C y 24 °C	PEN 85/100, 60/70
Caliente, temperatura media anual del aire $\geq 24$ °C	PEN 60/70, 40/50

**FUENTE:** Tabla B1 materiales para Pavimento Norma CE.010.

Para este proyecto se utilizó el grado de asfalto PEN 60/70 porque Lambayeque reúne las condiciones de tener un clima templado, temperatura media anual del aire entre 7 ° C y 24 ° C.

#### **3.7.2.4 Desarrollo de la modificación de la mezcla asfáltica con polímeros EVA y SBS.**

El desarrollo de la modificación de la mezcla asfáltica convencional tiene la finalidad de estudiar la deflexión y mala resistencia de los pavimentos ante cargas dinámicas y los ensayos se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán.

#### **3.7.2.5 Prueba de Laboratorio y Ensayos a Realizarse AGREGADOS GRUESOS Y FINOS**

##### **3.7.2.5.1 Análisis Granulométrico (Basado en ASTM C 136-01).**

Se realizó el procedimiento de tamizado, de acuerdo a las indicaciones de la norma, utilizando diversos tamices Estándar como indica la norma citada.

##### **A.-Objetivo:**

Se determinó la cantidad en % de diversos tamaños que constituyen el suelo, en cuanto al total de la muestra utilizada.



## **B.- Principio Teórico:**

Ensayo mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, denominado a la fracción menor (Tamiz No 200) como limo, Arcilla y Coloide. Se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños.

## **C.- Equipos y Materiales:**

### **Equipos:**

- Tamices (3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/5", 1/4", No 4, No 10, No 40, No 60, No 100, No200)
- Balanza con capacidad de 20Kg
- Horno eléctrico (temperatura 105 ± 5)
- Bandejas, agitador de vidrio, brochas de cerda.
- Vaso precipitado.
- Cepillo y Brocha: limpiar los restos de suelo en los tamices.

### **Materiales:**

- Agregados.

## **D.- Procedimiento:**

### **FRACCIÓN GRANULAR GRUESA:**

- ✓ En primer lugar la fracción granular gruesa se pesa en la balanza y el peso se anota en la hoja de registro.
- ✓ Luego de lleva a cabo el tamizado para separar las diferentes partículas 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", 1/4", y No 4, comenzando en orden decreciente, teniendo en cuenta de no mezclar las partículas tamizadas.



- ✓ Se debe verificar que la suma de los pesos retenidos en cada tamiz de igual al peso de la Fracción Granular gruesa, con una tolerancia de 0.5%.

### **FRACCIÓN GRANULAR FINA:**

- ✓ Se toma todo el material pasante el tamiz No 4 (Ba)
- ✓ Se pesa en la balanza de 20kg y se anota en la hoja de registro.
- ✓ Se vierte la muestra en el Tamiz No 200, teniendo el cuidado de no perder el material.
- ✓ Luego se elimina las partículas inferiores al Tamiz No 200 (limo, arcilla y coloides) lavando el material. Todo el material retenido en el Tamiz No 200 será arena, ya que los finos fueron lavados.
- ✓ Se coloca en un recipiente, teniendo en cuenta de no dejar material adherido en el tamiz. Se pasa el material a una escudilla de 600 ml, haciendo uso del frasco lavador. Se descanta el agua y se seca la muestra en el horno a una temperatura de  $105 \pm 5$  C por 18 horas aprox.
- ✓ Luego se deja enfriar y se separa por medio de tamices No 10, No 40, No 60, No 200. Se pesan las fracciones retenidas en cada uno de tamices y se anotan en la hoja de registro.

### **E.- Resultado:**

La curva llamada "granulométrica". Los porcentajes de agregados que se indican son acumulados. Relaciona el diámetro de las partículas en milímetros y el porcentaje que pasa en peso.





**Figura N° 16:** Realizando el tamizado de agregados.

**Fuente:** Elaboración

### **3.7.2.5.2 Peso específico y absorción de los agregados finos empleando la Norma ASTM C 128 (AASHTO T 84).**

#### **A.- Objetivo**

Calcular el peso específico y absorción de una muestra de agregado fino para saber si cumple los requerimientos para la elaboración del diseño de mezcla asfáltica.

Establecer el tipo de agregado fino para la elaboración de un buen diseño de mezcla asfáltica.

#### **B.-Principio teórico**

Se determinara el peso específico y absorción del agregado fino a partir del humedecimiento de los agregados en un periodo de 24 horas.

#### **C.- Equipo**

- ✓ Balanza.
- ✓ Picnómetro (frasco) y la placa de cubierta de vidrio.
- ✓ Molde de metal en forma de un tronco de cono.
- ✓ Metal anti sabotaje con una masa de  $340 \pm 15$  g de apisonamiento y la cara  $25 \pm 3$  mm de diámetro.
- ✓ Cuchara.



- ✓ Secadora de cabello.
- ✓ Tamices: No. 4 (4.75 m) Horno.

#### D.- Procedimiento

1. Obtener una cantidad de muestra para luego cuartear.



**Figura N° 17:** Cuarteo del agregado Fino.

**Fuente:** Elaboración propia.

2. Depositar solo 1500 gr de agregado fino en una tara que se va requerir para el ensayo
3. Una vez obtenida los 1500 gr se tendrá que saturar la muestra por 24 hr.



**Figura N° 18:** Saturación de muestra.

**Fuente:** Elaboración Propia

4. Después de haber transcurrido 24 hr se procede a sacar la muestra de la tara a una bandeja para tener mejor espacio.



**Figura N° 19:** Muestra para el proceso de secado.

**Fuente:** Elaboración Propia.

5. Para ver si la muestra estaba ok, se introdujo una capa de material dentro del cono y se apisona con 25 golpes, para posteriormente colocar la segunda capa sin apisonarla.
6. Se introduce en el picnómetro 200g de agregado fino y se llena con agua hasta aproximadamente el 90 % de su capacidad.
7. Se hace rodar al picnómetro, se agita e invierte, para eliminar todas las burbujas de aire.



**Figura N° 20:** Muestra en el picnómetro.

**Fuente:** Elaboración Propia

8. Para este ensayo se realizó a calibrar la balanza con una tara de plástico N°2 establecida en sus requerimientos técnicos.
9. Luego se determinó el peso del conjunto picnómetro-agua-agregado en la balanza balanceada.



**Figura N° 21:** Peso del Picnómetro.

**Fuente:** Elaboración Propia

10. El agregado es removido del picnómetro y secado en un horno a temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).



11. Se calculó la gravedad específica Bulk seca, gravedad específica Bulk Saturada Superficialmente Seca y el porcentaje de absorción, del método de ensayo ASTM C-128.

#### A. Cálculos

Para el cálculo del peso específico del material impermeable de las partículas se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Peso Específico} = \frac{C}{C + D - E} * \gamma$$

Para el cálculo del peso específico de las partículas saturadas con superficie seca se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Peso Específico} = \frac{A}{A + D - E} * \gamma$$

Para el cálculo del peso específico de las partículas secas se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Peso Específico} = \frac{C}{A + D - E} * \gamma$$

Para el cálculo del porcentaje de absorción se utiliza la siguiente formula.

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

#### Dónde:

**A** = Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

**C** = Peso de la muestra seca, en gramos.

**D** = Peso del picnómetro lleno de agua, en gramos.

**E** = Peso del picnómetro con la muestra saturada, en gramos.



$\gamma$  = Peso específico del agua a la temperatura que se realiza el ensayo.

### **3.7.2.5.3 Peso específico y absorción de los agregados gruesos empleando la Norma ASTM C 127 (AASHTO T 85).**

#### **A. Objetivo**

Este método determinó el peso específico bruto y aparente y el peso específico bruto a base del peso agregado en condición de superficie seca saturada y absorción.

#### **B. Principio teórico**

Este ensayo determina la gravedad específica y absorción del agregado grueso. La gravedad específica puede ser expresada aparente. Este ensayo no debe ser usado en agregados de bajo peso.

#### **C. Equipo**

- ✓ Balanza
- ✓ Franela
- ✓ Horno
- ✓ Taras
- ✓ Tamices

#### **D. Procedimiento**

1. Obtener una cantidad de muestra para luego cuartear.



Figura N° 22: Cuarteo del material.

**Fuente:** Elaboración Propia

2. Depositar solo 2000 gr de agregado grueso en una tara que se va requerir para el ensayo.
3. Después de haber depositados los 2000 gr en la tara proseguimos a saturar la muestra por 24 hrs.



Figura N° 23: Muestra Saturada.

**Fuente:** Elaboración Propia

4. Después de haber transcurrido las 24 hr se continúa con el secado superficial de la muestra con ayuda de una franela
5. Una vez terminada el secado con la franela se tiende a calibrar la balanza para empezar con el pesado de la muestra superficialmente seca.



6. Terminada de pesar la muestra se continua en pesar la canastilla pero sumergida en agua.



**Figura N° 24:** *Peso de la canastilla sumergida.*

**Fuente:** Elaboración Propia

7. Luego de haber pesado la canastilla y tiende a introducir la muestra superficialmente seca a la canastilla para obtener el peso de la muestra sumergida.

8. Culminada con realizar los pesos se lleva la muestra al horno por 24 hr.

9. Después de haber transcurrido las 24 hr en el horno se saca de ella para pesarlo.

### **E. Cálculos**

Para el cálculo del peso específico del material impermeable de las partículas se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Peso Específico} = \frac{C}{C + D - E} * \gamma$$

Para el cálculo del peso específico de las partículas saturadas con superficie seca se utiliza la siguiente formula.





$$\text{Peso Específico} = \frac{A}{A + D - E} * \gamma$$

Para el cálculo del peso específico de las partículas secas se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Peso Específico} = \frac{C}{A + D - E} * \gamma$$

Para el cálculo del porcentaje de absorción se utiliza la siguiente formula.

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

#### **3.7.2.5.4 Determinación del valor "Equivalente de arena" de suelos y agregados finos aplicando la Norma ASTM D 2419**

##### **A. Objetivo**

Este procedimiento tiene como objetivo ser empleado como un ensayo rápido de correlación en el campo. La finalidad del ensayo es indicar, en condiciones normalizadas; la proporción relativa de finos plásticos o de naturaleza arcillosa en los suelos granulares y agregados finos pasando el tamiz de 4.75 mm (N°4).

##### **B. Principio teórico**

Este método de ensayo provee un método de campo rápido para determinar cambio en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

##### **C. Equipo**

- ✓ Probeta
- ✓ Tara
- ✓ Secadora de cabello
- ✓ Balanza



- ✓ Tapones de hule
- ✓ Tubo irrigador

#### **D. Procedimiento**

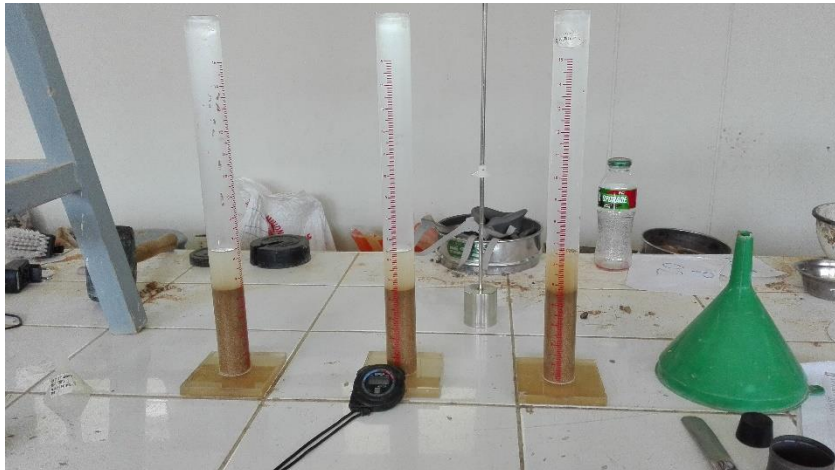
1. Obtener una cantidad de 500 gr de agregado fino.
2. Dejar saturar la muestra por 24 hr.
3. Después de haber pasado las 24 hr se continúa en vaciar la muestra en una bandeja para secarla con ayuda de una secadora de cabello.
4. Se obtiene 88 ml de solución STOCK.
5. Luego de haber obtenido la solución STOCK se requiere un galón de agua destilada a la cual se le sustrae 88 ml para luego completar el galón con los 88 ml de solución STOCK.
6. Se requiere tres probetas y una manguera que transporte la combinación de la solución STOCK y agua destilada a la probeta.
7. Ubicar el galón de la combinación a una altura de 95 – 110 como lo estipula la norma.



**Figura N° 25:** Equipos para la realización del ensayo.

**Fuente:** Elaboración Propia.

- Colocar la muestra en las tres probetas con ayuda de una tara pequeña que cuyo contenido de muestra es de 100 gr.



**Figura N° 26:** Muestra inserta en la Probeta.

**Fuente:** Elaboración Propia.

- Una vez puesta la muestra en las probetas se tiende a introducir el líquido de la combinación con ayuda de la manguera.



**Figura N° 27:** Muestra lista para ser ingresada en las 2 probetas siguientes.

**Fuente:** Elaboración Propia

- Dejar reposar 10 minutos.
- Tapamos la probeta y agitar 90 ciclos (ida y vuelta 20 cm) durante 30 segundos.
- Lavamos el tapón y las paredes interiores de la probeta con disolución lavadora.
- Dejar reposar durante 10 minutos.
- Hacemos lecturas  $h_1$  y  $h_2$  para las tres muestras.



**Figura N° 28:** *Ubicación altura según específica la norma.*

**Fuente:** Elaboración Propia

### **E. Cálculos**

Para el cálculo del equivalente de arena del suelo se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$

#### **3.7.2.5.5 Ensayo de Determinación de la Resistencia a la Abrasión del Agregado Grueso de Tamaño Pequeño Usando la máquina de los Ángeles para los materiales Pétreos de la cantera La Pluma empleando la Norma AASHTO T 96 (ASTM C 131).**

### **A. Objetivo**

Determinar el desgaste producido por una combinación de impacto y rozamiento superficial en una muestra de agregado grueso.

La prueba consiste en hacer golpear una muestra de material con una carga abrasiva dentro de un tambor metálico giratorio, a una determinada velocidad y durante un tiempo especificado. La evaluación de la resistencia a



la abrasión se realiza a partir del incremento en material fino que se produce por el efecto de golpeo con la carga abrasiva dentro del tambor cilíndrico. Este ensayo se realiza en la Máquina de los Ángeles.

## B. Principio teórico

Este método, describe el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de agregado grueso, natural o triturado, más pequeños de 37.5 mm (1 1/2 pulg) usando la máquina de Los Ángeles.

## C. Equipo

- ✓ Tamiz
- ✓ Balanza
- ✓ Horno
- ✓ Carga (esferas de acero aproximadamente de 46.8 mm o 1 27/32 pulg.
- ✓ Máquina de los Ángeles.

## D. Procedimiento

1. Cuartear el agregado pétreo, tomar 1500 gr de 1/2" y 1500 gr de 3/8" lavarla.



**Figura N° 29:** Muestra tamizada y lavada.

**Fuente:** Elaboración Propia



2. Secar a 110°C el agregado hasta que tenga un peso constante.



**Figura N° 30:** Secado del agregado grueso en el horno a T° 110.

**Fuente:** Elaboración Propia

3. Colocar la muestra a probar en la Máquina de los Ángeles. De igual manera se introduce la carga abrasiva de acuerdo a la tabla 4 que indica el número de esferas a colocar según la combinación seleccionada.

**TABLA N° 17**

*Carga de acuerdo al tipo de composición.*

Tipo de Composición	N. de Esferas	Carga Aplicada (g)
A	12	5000 ± 10
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

**Fuente:** Normas ASTM

4. Accionar la máquina para que gire a 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 r.p.m.

5. Después del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y retirar las esferas.

6.- Separar el material sobre el tamiz de 4.75 mm (N°4) y pesarlo.



Figura N° 31: Muestra tamizada y lavada.

Fuente: Elaboración Propia

### E. Cálculos.

Para determinar el porcentaje de desgaste que sufrió el agregado pétreo después de haber sometido al ensayo en la Máquina de los Ángeles utilizamos la siguiente fórmula:

$$Pd = \left( \frac{Pa - Pb}{Pa} \right) * 100$$

**Dónde:**

**Pd** = Porcentaje de desgaste (%)

**Pa** = Masa de la muestra seca antes del ensayo (gr)

**Pb** = Masa de la muestra seca después del ensayo, sobre el tamiz 4,75 mm, (gr).

#### 3.7.2.5.6 Ensayo determinación límite plástico para los materiales pétreos de la cantera La Pluma empleando la Norma ASTM D 4313.

##### A. Objetivo

Determinar en laboratorio el límite plástico (LP) de un material pétreo.

Límite plástico es el porcentaje de humedad del suelo que ha producido un cilindro de aproximadamente 3,2 mm (1/8) de diámetro,



(rodando dicho suelo entre una superficie lisa y la palma de la mano sin que se desmoronen). Es decir, el porcentaje o contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido.

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

### **B. Principio teórico**

Es el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rodillos de 3mm de diámetro, se rompe.

Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

### **C. Equipo**

- ✓ Tara
- ✓ Balanza eléctrica
- ✓ Horno

### **D. Procedimiento**

1. Tamizar la muestra en las mallas N° 40 y N° 200 hasta obtener 150 gr de cada una.
  
2. Se toma unos 20 g de la porción del material que pasa por el tamiz N° 40 se coloca el suelo a secar al aire en un plato de evaporación, se mezcla bien con agua destilada hasta que la masa se vuelva lo suficientemente plástica como para hacer una esfera con el material pétreo sin que estas se adhieran a las manos y se llega a la conclusión que la muestra que paso la malla N° 40 no es plástica.
  
3. A continuación proseguimos en tomar unos 20 g de porción del material que pasa por el tamiz N° 200 se coloca el suelo a secar al aire en un plato de evaporación, se mezcla bien con agua destilada hasta que la masa se vuelva lo suficientemente plástica como para hacer una esfera con el material pétreo sin que estas se adhieran a las manos.





4. Se moldea la mitad de la porción preparada en forma de un elipsoide.

5. Se hace rodar con la palma de la mano sobre la lámina de vidrio, dándole la forma de pequeños cilindros.

6. La presión aplicada para hacer rodar la pasta debe ser suficiente para obtener que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud.



**Figura N° 32:** Muestra hecha barritas Cilíndricas.

**Fuente:** Elaboración Propia

7. La velocidad con que se manipula a la pasta haciéndola rodar debe ser tal de obtener de 60 a 70 impulsos por minuto, entendiendo como un impulso un movimiento completo de la mano hacia adelante y atrás.

8. Si el diámetro de los cilindros es menor de 3 mm y no presentan fisuras o signos de desmenuzamiento, se unen los trozos y se amasan nuevamente tantas veces como sea necesario. La



operación también se repite si las barritas cilíndricas se fisuran y agrietan antes de llegar al diámetro 3 mm.

9. En este caso se reúnen los trozos y se amasan nuevamente con el agregado de agua hasta lograr la completa uniformidad.

10. El ensayo se da por finalizado cuando las barritas cilíndricas comienzan a fisurarse y agrietarse al alcanzar los 3 mm de diámetro.

11. Las barritas de suelo fisurado deben reunirse y colocarse juntas en un recipiente adecuado, el recipiente junto con las muestras debe pesarse con la aproximación de 0.01 y anotar el peso.

12. El recipiente que contiene la muestra debe ponerse a secar en el horno hasta peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5\text{C}$  ( $230 \pm 9\text{F}$ ) y pesarlo, con la aproximación de 0.01 gr.

13. La pérdida de peso se registra como el peso del agua.

### **E. Cálculos**

Se calcula el límite plástico como el promedio de las humedades de las muestras, expresado como porcentaje.

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso del suelo secado del horno}} * 100$$

### **3.7.2.5.7 Ensayo determinación del límite líquido para los materiales pétreos de la cantera La Pluma empleando la Norma AASHTO T 89.**

#### **A. Objetivo**

Determinar en laboratorio el límite líquido (LL) de un material pétreo. El límite líquido (LL) es el contenido de agua cuando el suelo pasa de un estado líquido a un estado plástico. Este ensayo se realiza con la copa de casa grande.

#### **B. Principio teórico**

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza,



pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua.

Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido.

### C. Equipo

- ✓ Tara
- ✓ Balanza eléctrica
- ✓ Copa de Casagrande
- ✓ Picetas
- ✓ Espátula
- ✓ Horno
- ✓ Agua destilada

### D. Procedimiento

1. Se utilizó muestras que pasaron los tamices N° 40 y N° 200 que constaron de 150 gr cada una.
2. Secamos la muestra a 110 a 105 °C.
3. Mezclamos la muestra con agua destilada, hasta obtener una apariencia pastosa.
4. Se reposa la muestra como mínimo 18h, usamos una bolsa para que la muestra mantenga su humedad.
5. Mezclamos el suelo con agua destilada.



**Figura N° 33:** *Copa Casagrande.*

**Fuente:** Elaboración Propia



6. Se coloca la muestra en el equipo (cono de casa grande), hasta que la muestra quede horizontal.

7. Abrimos la muestra, haciendo uso del ranurador.



**Figura N° 34:** Ranurado de la muestra.

**Fuente:** Elaboración Propia

8. Cerramos la muestra con golpes, estos deben ser un aproximado de 2 golpes por segundo.

9. En el primer intento dimos 25 golpes, pero la muestra no cerró.

10. Repetimos el proceso, para lo cual humedecemos la copa de Casagrande.

11. Colocamos la muestra y la ranuramos.

12. La muestra cerró a los 28 golpes, en la tara N°C-1.

13. Una vez que cierra se saca la muestra de la copa Casagrande y se coloca en taras para luego llevarlo al horno.



## E. Cálculos

El contenido de agua del suelo será expresado como el contenido de humedad en porcentajes del peso del suelo secado en horno y se empleara la siguiente formula.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Masa de Agua}}{\text{Masa del suelo secado en el horno}} * 100$$

### 3.7.2.5.8 Partículas planas, partículas alargadas, ó partículas planas y alargadas en agregado grueso.

#### A. Objetivo:

Determinar los porcentajes de partículas planas, partículas alargadas o de partículas planas y alargadas en el agregado grueso.

#### B. Principio Teórico:

Las Partículas Planas o alargadas de agregados, para uso en alguna construcción, pueden interferir en la consolidación y resultar en grandes dificultades para colocar materiales.

Este método de ensayo provee una manera para verificar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar la forma relativa característica del agregado grueso.

#### C. Equipos y Materiales:

##### Equipos:

- Dispositivo de calibración proporcional.
- Balanza.

##### Materiales:



- Agregado Grueso.

#### **D. Procedimiento:**

Si se requiere la determinación por masa, debe secarse la muestra al horno a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) hasta masa constante.

Tamizar la muestra de ensayo de acuerdo con el método de ensayo NTG 41010 (C136). Usando el material retenido en el tamiz de 9.5mm (3/8 pulg) o en el tamiz de 4.75 mm (No.4), como se requiera por la especificación que se esté usando, se debe reducir cada fracción de tamaño presente en una cantidad mayor del 10% o más de la muestra, y de acuerdo con la práctica NTG 41010 h11 (C702) hasta que se obtengan aproximadamente 1010 partículas de cada fracción de tamaño requerido. Las fracciones de tamaño que contengan menos del 10% de la masa original total de la muestra, no se someten a ensayo y son descartadas.

Método A – Ensayar las partículas en cada fracción de tamaño y colocarlas en uno de los cuatro grupos siguientes: (1) Partículas planas (2) Partículas alargadas (3) Partículas que cumplen con ambos criterios de (1) y (2); (4) Partículas que no son ni planas ni alargadas, y no cumplen con los criterios del grupo (1) ni del grupo (2).

Método B – Ensayar las partículas de cada fracción del tamaño y colocarlas en dos grupos: (1) planas y alargadas y (2) ni planas ni alargadas.

#### **E. Resultado:**

Determinar el porcentaje de partículas planas, partículas alargadas, o partículas planas y alargadas en agregado grueso.



**Figura N° 35:** *Procedimiento de medición.*

**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.7.2.6 ASFALTO**

#### **3.7.2.6.1 Índice de penetración de cementos asfálticos.**

##### **A. Objetivo**

Determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración norma. Esta se hace a 25° C, calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100 gr y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro.

##### **B. Principio teórico**

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de



temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones especificadas, se entiende que la medida de penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 seg. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro.

### **C. Equipo**

- ✓ Probeta
- ✓ Moldes
- ✓ Penetrómetro
- ✓ Aguja

### **D. Procedimiento**

1. Calentar el material en un recipiente, agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogenizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas.
2. Se llena el molde para la probeta calentado a una temperatura semejante a la del material, hasta una altura que sea superior al menos en 10 mm a la penetración supuesta.
3. Después de llenar los moldes, protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire y dejar enfriar al aire a una temperatura por un periodo entre 60 min y 90 minutos.
4. Sumergir el recipiente en el baño de agua a la temperatura controlada de 25° C, durante un periodo de 30 minutos.





5. Comprobar que el vástago soporte de la aguja este perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía.
6. Fijar la aguja firmemente en su soporte. Se coloca el peso suplementario de 50 gr sobre el vástago para obtener la masa móvil total de  $100 \pm 0.1$  gr.
7. Aproximar la aguja del Penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra sin que penetre.



**Figura N° 36:** Penetración.

**Fuente:** Elaboración Propia

8. Poner en cero el Penetrómetro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado.
9. Se lee y anota la distancia, expresada en decimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.
10. Se puede realizar más perforaciones en la muestra para lo cual se la vuela a introducir al baño de agua durante un periodo de 15 minutos.



11. Al momento de repetir el ensayo se debe tener en cuenta que se las debe realizar tanto a 10 mm de la perforación inicial y del borde.

### 3.7.3 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICAS EN CALIENTE CONVENCIONAL

#### 3.7.3.1 Método Marshall del diseño de mezcla

Los procedimientos originales de prueba de Marshall son aplicables solamente en mezclas para pavimentación de asfalto caliente que contengan agregados de un tamaño máximo de 25 milímetros (1 pulgada) o menos.

Las dos características principales del método de Marshall son los análisis de densidad y la evaluación de la estabilidad de fluidez de las muestras de prueba.

La estabilidad de las muestras de prueba es la máxima resistencia de carga en Newton (libras) que la muestra de prueba estándar ejercerá a 60° C (140° F) cuando se evalúa tal como está indicado. El valor de la fluidez es el movimiento total o tensión, en unidades de 0.25 mm (1/100 pul.) que se produce entre un punto sin carga y el punto de carga máxima durante la prueba de estabilidad.

#### 3.7.3.2 Gravedad Especifica Bulk del Agregado (Gsb)

Cuando el agregado total consiste en fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y llenante con diferentes gravedades específicas, la gravedad específica Bulk para el agregado total se calcula empleando la relación:

$$Gsb = \frac{P1 + P2 + P3 \dots \dots + Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{P3}{G3} + \dots \frac{Pn}{Gn}}$$

**Donde:**

Gsb = Gravedad específica Bulk para el agregado total

P1, P2, Pn = Porcentajes individuales por masa de agregado.

G1, G2, Gn = Gravedad específica neta individual del agregado.



### 3.7.3.3 Gravedad Especifica Efectiva del Agregado (Gse)

Cuando se basa en la gravedad especifica máxima de una mezcla, Gmm, la gravedad especifica efectiva del agregado, Gse, incluye todos los espacios vacíos en las partículas del agregado, excepto aquellos que absorben. La Gse se determina empleando la relación.

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}$$

**Donde:**

**Gse** = Gravedad especifica efectiva del agregado

**Gmm**= Gravedad especifica máxima de la mezcla sin vacíos de aire (obtenida mediante el ensayo ASTM D 2041 ó ÁASHTO T 209).

**Pmm** = Porcentaje de masa total de la mezcla suelta = 100%

**Pb** = Contenido de asfalto con el cual se determina la Gmm expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla.

**Gb** = Gravedad especifica del asfalto.

### 3.7.3.4 Gravedad Específica Máxima (Gmm)

En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado se necesitara la gravedad específica máxima, Gmm, con el fin de calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}}$$

**Donde:**

**Gmm** = Gravedad específica máxima de la mezcla (sin vacíos de aire)

**Pmm** = Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100%

**Ps** = Contenido de agregado expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla. Ps = 100 – Pb



**Pb** = Contenido de asfalto expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla.

**Gse** = Gravedad específica efectiva del agregado.

**Gb** = Gravedad específica del asfalto.

### 3.7.3.5 Absorción de asfalto (Pba)

La absorción se expresa como un porcentaje de la masa del agregado y no como un porcentaje del total de la masa de la mezcla. La absorción del asfalto, Pba, se determina mediante la siguiente relación:

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb$$

**Donde:**

**Pba** = Asfalto absorbido expresado como porcentaje de la masa del agregado.

**Gse** = Gravedad específica efectiva del agregado.

**Gsb** = Gravedad específica Bulk del agregado.

**Gb** = Gravedad específica del asfalto.

### 3.7.3.6 Contenido efectivo de asfalto (Pbe)

Es el volumen total de asfalto menos la cantidad de asfalto absorbido dentro de las partículas del agregado.

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} * Ps$$

**Donde:**

**Pb** = Contenido de asfalto %.

**Pba** = Asfalto absorbido %.

**Gb** = Gravedad específica del asfalto.

**Ps** = % de agregado en la mezcla

### 3.7.3.7 Vacíos de Agregado Mineral (VAM)

Se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, el cual incluye los vacíos de aire (Va) y el



contenido de asfalto efectivo ( $P_{be}$ ), expresado como un porcentaje del volumen total.

$$VAM = 100 - \frac{Gmb * Ps}{Gsb}$$

**Donde:**

**Vam** = Vacíos de agregado mineral

**Gmb** = Gravedad Bulk de mezcla compactada.

**Ps** = % de agregado en la mezcla.

**Gsb** = Gravedad específica Bulk de la mezcla de agregado.

### 3.7.3.8 Vacíos de aire ( $V_a$ )

Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla del pavimento compactado.

### 3.7.3.9 Vacíos llenados con asfalto (VFA)

Volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado que es ocupado por el asfalto efectivo.

$$VFA = \frac{100 * (VAM - V_a)}{VAM}$$

**Donde:**

VFA = Vacíos llenados con asfalto.

VAM = Vacíos agregado mineral.

$V_a$  = Vacíos de aire.

### 3.7.3.10 Dosificación del asfalto

Preparar una serie de muestras de prueba para un rango diferente de contenidos asfálticos para que las curvas a partir de los datos de evaluación muestren relaciones bien definidas. Las pruebas tienen un incremento de contenido asfáltico de 0.3 por ciento, dos contenidos asfálticos sobre el valor de diseño que ha sido planeado y dos por debajo del mismo valor.



Se puede calcular el valor de diseño, es decir la cantidad de asfalto usando la siguiente expresión:

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

**Dónde:**

P = Contenido aproximado de contenido asfáltico de la mezcla, en porcentaje al peso de la misma.

a = Porcentaje de agregado retenido en un tamiz de 2.36 mm (N° 8)

b = Porcentaje de agregado sobrepasado en tamiz de 2.36 mm (N° 8) y retenido en el tamiz (N° 200).

C = Porcentaje de agregado que pasa el tamiz (N° 200)

K = 0.15 por 11 – 15 por ciento pasando el tamiz (N° 200)

0.18 por 6 – 10 por ciento pasando el tamiz (N° 200)

0.20 por 5 por ciento o menos pasando el tamiz (N° 200)

F = 0 a 2.0 por ciento. Basado en la absorción de luz o agregados pesados.

Si estos datos llegasen a faltar, se sugiere un valor de 0.7

Para proveer datos adecuados, al menos tres muestras deben prepararse para cada tipo de contenido asfáltico.

Es importante señalar que el contenido de asfalto puede ser expresado como un porcentaje en peso de mezcla total o como porcentaje en peso de agregado seco.

**TABLA N° 18**

*Datos para calcular el contenido de asfalto en la mezcla.*

A=	6.80
B=	84
C=	0
K=	0.2
F=	0.996

**Fuente:** Elaboración Propia



**Resultado:**

$$P = 0.035 (6.8) + 0.045 (84) + (0.2)(0) + 0.996$$

$$P = 5.20$$

En este caso se obtiene 5.20% de asfalto razón por la cual se opta por realizar 2 incrementos y 2 deducciones, para obtener el contenido óptimo de asfalto para esta combinación de agregados.

Para el porcentaje de agregados pétreos se obtuvo por medio de la granulometría que como resultado dio el 48.30% de agregado fino y 51.70% de agregado grueso.

**TABLA N° 19:**

*Porcentaje de Asfalto.*

Tipo	N°	Asfalto	
1	1.1	56.40 gr	4.7%
	1.2	56.40 gr	4.7%
	1.3	56.40 gr	4.7%
2	2.1	60.00 gr	5.0%
	2.2	60.00 gr	5.0%
	2.3	60.00 gr	5.0%
3	3.1	63.60 gr	5.3%
	3.2	63.60 gr	5.3%
	3.3	63.60 gr	5.3%
4	4.1	67.20 gr	5.6%
	4.2	67.20 gr	5.6%
	4.3	67.20 gr	5.6%

**Fuente:** Elaboración Propia

**3.7.3.11 Preparación de las briquetas de ensayo.**

Antes de comenzar con la evaluación de criterios, fue necesario hablar sobre la elaboración de briquetas, las cuales se realizarán bajo el procedimiento planteado en la norma AASHTO T 245 y la aplicación del método Marshall los cuales se detallan en anexos del presente proyecto.



Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, en este caso se utiliza los porcentajes determinados en la tabla anterior.

La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico, indicada en la tabla N° 20.

**TABLA N° 20**

***Dosificación de la mezcla en caliente.***

Briqueta											
Tipo	N°	Asfalto		Agregado Grueso	%	Agregado Fino	%	Filler	%	Agregado Fino +Filler	%
1	1.1	56.40 gr	4.7%	592.20 gr	49.35%	530.28	44.19%	21.12	1.76%	551.40 gr	45.95%
	1.2	56.40 gr	4.7%	592.20 gr	49.35%	530.28	44.19%	21.12	1.76%	551.40 gr	45.95%
	1.3	56.40 gr	4.7%	592.20 gr	49.35%	530.28	44.19%	21.12	1.76%	551.40 gr	45.95%
2	2.1	60.00 gr	5.0%	590.40 gr	49.20%	528.48	44.04%	21.12	1.76%	549.60 gr	45.80%
	2.2	60.00 gr	5.0%	590.40 gr	49.20%	528.48	44.04%	21.12	1.76%	549.60 gr	45.80%
	2.3	60.00 gr	5.0%	590.40 gr	49.20%	528.48	44.04%	21.12	1.76%	549.60 gr	45.80%
3	3.1	63.60 gr	5.3%	588.60 gr	49.05%	526.68	43.89%	21.12	1.76%	547.80 gr	45.65%
	3.2	63.60 gr	5.3%	588.60 gr	49.05%	526.68	43.89%	21.12	1.76%	547.80 gr	45.65%
	3.3	63.60 gr	5.3%	588.60 gr	49.05%	526.68	43.89%	21.12	1.76%	547.80 gr	45.65%
4	4.1	67.20 gr	5.6%	586.80 gr	48.90%	524.88	43.74%	21.12	1.76%	546.00 gr	45.50%
	4.2	67.20 gr	5.6%	586.80 gr	48.90%	524.88	43.74%	21.12	1.76%	546.00 gr	45.50%
	4.3	67.20 gr	5.6%	586.80 gr	48.90%	524.88	43.74%	21.12	1.76%	546.00 gr	45.50%

**Fuente:** Elaboración Propia.

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura, preparadas como se describe en la norma.





### 3.7.3.11.1. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS:

1. Se procedió en primer lugar a preparar los materiales con la dosificación de diseño.

2. En un recipiente tarado se pesaron sucesivamente las cantidades de las fracciones de tal modo que la cantidad total de árido y asfalto para cada briqueta fuera de 1200 g.

3. Se colocó a continuación el recipiente al horno para calentar la dosificación de agregados a una temperatura de 125 °C. arrox.

4. Se colocó la cantidad de asfalto necesaria para la fabricación de las probetas en un recipiente y se llevó a una temperatura de 160 °C, esto de acuerdo a las propiedades del asfalto utilizado (Asfalto grado Pen 60 - 70) cuya temperatura de mezclado y compactación a utilizar es de 140°C y 125°C respectivamente.

5. Se verterá los agregados en el recipiente para el mezclado y se efectuará una mezcla de los mismos, se añadirá por pesada la cantidad exacta de asfalto calculado para la mezcla.

6. Manteniendo la temperatura de los materiales dentro de los límites especificados para su mezcla, se iniciará el proceso de mezclado, y se continuará hasta que la mezcla se observe homogéneamente cubierta.



**Figura N° 37:** Mezclado de los agregados más asfalto.



**Fuente:** Elaboración Propia.

7. Preparación de molde y martillo: límpiense meticulosamente el montaje del molde de muestras y el martillo y caliéntense a una temperatura entre los 95° C y 150° C. Coloque una pieza de papel de cera y colóquese el mismo en el fondo del molde previo a la colocación de la mezcla.



**Figura N° 38:** *Muestra en el molde.*

**Fuente:** Elaboración Propia

8. La mezcla asfáltica caliente se colocan en el molde pre-calentado Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
9. La compactación de las probetas se realizará empleando la máquina y el procedimiento de compactación descrito en la norma AASHTO T 245, sin embargo el número de golpes fue establecido en base a la norma CE. 010 "PAVIMENTOS URBANOS" del Reglamento Nacional de Edificaciones, la que en su apartado 4.3



especificaciones técnicas constructivas, establece que el número de golpes deberá de ser de 35 vías locales (tránsito liviano), 50 vías colectoras y arteriales (tránsito mediano) y 75 vías expresas (tránsito pesado) por cara (ver anexos).



**Figura N° 39:** Aplicación los golpes a la briqueta.

**Fuente:** Elaboración Propia.

10. Repetir este proceso con todos los porcentajes de asfalto que se obtuvo.
11. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes usando un gato de extrusión u otro dispositivo de compresión, entonces colóquelas sobre una suave y nivelada superficie hasta que se encuentren listas para evaluarse.

Normalmente las muestras se dejan enfriar por una noche o 24 hr.



**Figura N° 40:** Extracción de la briqueta.

**Fuente:** Elaboración Propia

12. De las briquetas con distintos porcentajes de asfalto se debe obtener 3 pesos diferentes distintos:

**Peso en el aire:** Pesar a las briquetas apenas se las desmolda y apuntar su resultado.

**Peso saturado Superficie seca:** Sumergir en agua a las briquetas durante un periodo de 15 minutos, sacarlas, secarlas y tomar su peso.

**Peso sumergido:** Tomar el peso de las briquetas sumergidas en agua, dejar estabilizar la lectura del peso durante 15 minutos.



Figura N° 41: Peso de la briqueta.

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.7.3.11.2. Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall Briqueta de 1200 gr.

A cada briqueta después de realizar todo lo mencionado anteriormente se procedió a colocar por 2, 4, 6 hr en el horno pero a una temperatura de 60 °C.

Transcurrido las 2, 4 6 hr se procedió a colocar la briqueta de diferentes de porcentajes de asfalto a la maquina Marshall.

Aplique cargas de prueba a las muestras en una constante proporción de deformación, 51 mm (2 pul.) por minuto, hasta que alguna falencia se presente. El punto de falencia es definido por la máxima lectura de carga obtenida registrada como el valor de estabilidad Marshall.



**Figura N° 42:** Briqueta en la Maquina Marshall.

**Fuente:** Elaboración Propia

Mientras la prueba de estabilidad se encuentra en proceso, sostenga firmemente el medidor de flujos sobre la barra guía marcada y retírelo mientras la medida de carga disminuya, tome la lectura y registre.

El procedimiento completo para las medidas de estabilidad y fluidez, deberá ser completada en un periodo de 30 segundos.

Se reporta los datos de estabilidad y flujo.



**Figura N° 43:** Briquetas después de pasar en Maquina Marshall.

**Fuente:** Elaboración Propia



### **3.7.4 Determinación del porcentaje óptimo para una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS.**

Se adicionan porcentajes de polímero SBS al porcentaje de asfalto previamente calculado (5.3% de asfalto) para Tránsito pesado y (5.0% de asfalto) para tránsito liviano, y se escoge el porcentaje con el cual las propiedades del asfalto mejore en este caso en su estabilidad y flujo.

#### **3.7.4.1 Procedimiento de modificación del asfalto.**

a) La dosificación de la briqueta de 1200 gr es similar a la mezcla en caliente solo en este caso se realizó ya la mezcla asfáltica adicionando el polímero SBS para lo cual se trató de triturar con un molino normal en la mayor parte posible para tener partículas más finas, para lograr esto se pasa por el molino unas 4 veces o más a una temperatura de 35 °C y así lograr la adherencia al asfalto con mayor facilidad.

b) Se tomaron los pesos del asfalto y polímero y se mezclaron con la ayuda de una batidora de mano simulando ser el molino coloidal que se utiliza en plantas modificadoras de asfalto, esto con la finalidad de que el polímero reaccione con el asfalto convencional y se forme el Asfalto Modificado con Polímero SBS.

c) Se toman los pesos: Al aire, saturado con superficie seca y saturada sumergida de las briquetas.

d) Ensayar las muestras en la Maquina Marshall.

e) Reportar los datos de estabilidad y flujo.



**Figura N° 44:** Briqueta con asfalto modificado en Maquina Marshall.

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.7.4.2 Determinación del porcentaje óptimo para una mezcla asfáltica modificada con polímero EVA.

#### 3.7.4.2.1 Procedimiento de modificación al asfalto:

Se calienta el asfalto convencional a una temperatura constante de 140 °C, luego se agrega el polímero una cantidad determinada en % respecto al asfalto, luego se empieza a batir por dos horas a





temperatura constante, luego se agrega el ácido fosfórico una cantidad del 0.3% respecto al asfalto y se continua batiendo por media hora más; esto con la finalidad de que el polímero reaccione con el asfalto convencional y se forme el Asfalto Modificado con Polímero EVA.

### **3.8 Criterio Éticos**

El presente trabajo de investigación se viene realizando de manera secuencial, ordenada de acuerdo al formato brindado por la universidad. Recolectando diversos datos de libros, textos, revistas científicas, papers, tesis realizadas nacionales y extranjeras. Indicando la pertenencia del autor en las teorías usadas y presentadas en el presente trabajo.

La finalidad de la referencia que se presenta en los diversos ítems, es evitar un plagio de los anteriores trabajos realizados y presentados por los tesisistas.

La información que se utilizará es consultada y analizada por el especialista asesor y los autores de este presente trabajo.

### **3.9 Criterios de Rigor Científico**

La presente investigación, tiene seguimiento de un especialista, que continuamente se ha sido consultado para poder elaborar este trabajo. Los datos que se tomaron en cuenta, como teorías, valores unitarios, procedimientos guardan relación con la realidad de la ingeniería, siendo en muchos casos información de datos comprobados que anteriormente han sido realizados y presentados.



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y  
SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Ataurima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

---

## **CAPITULO IV:**

# **ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS**



## 4.1 Resultados en tablas y gráficos.

### 4.1.1 Ensayos a los Agregados:

#### 4.1.1.1 Análisis Granulométrico:



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

#### ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D 136 Y AASHTO T27

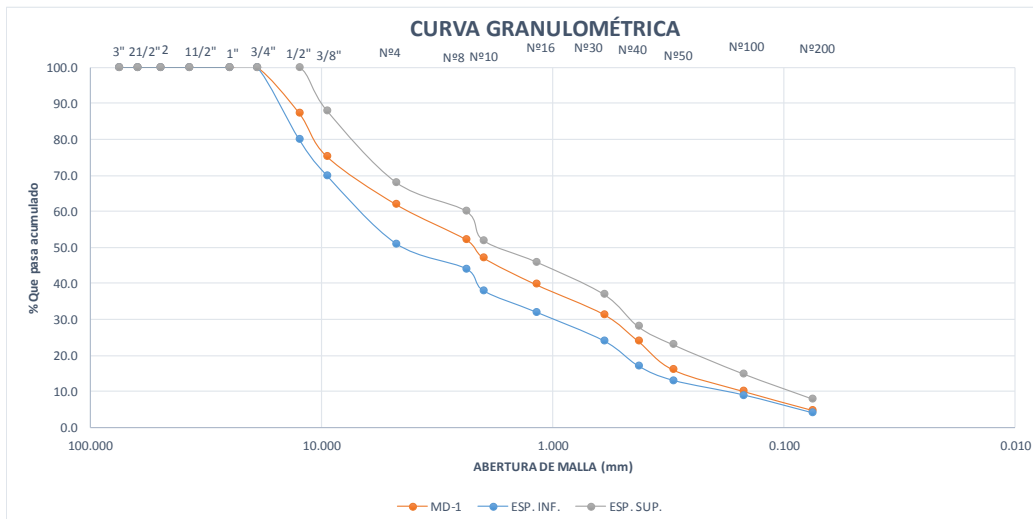
TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
AUTORES:	INFANTE ATaurIMA CARLOS ANDRE VAZQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ
ACESOR:	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA

Proyecto:	<u>Verificación de la calidad</u>	Fecha de Muestreo:	
Material:	<u>Grava 3/4" - 1/4" y Arena</u>	Fecha de Ensayo:	<u>02/03/2016</u>
Precedencia:	<u>Cantera La Pluma del Gobierno Regional</u>	Muestra N°:	

PESO INICIAL 01 - AF=	1100.0 g.	PESO INICIAL TOTAL(ANTES DE LAVADO)=	5100.0 g.
PESO INICIAL 02 - AG=	4000.0 g.	PESO DESPUES DE LAVADO=	4994.0 g.
		PÉRDIDA POR LAVADO =	106.0 g.

MALLAS		Peso Retenido	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO	MAC - 2		CUMPLE CON ESPECIFICACION
PULGADAS	MILÍMETROS					ESP. INF.	ESP. SUP.	
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	SI CUMPLE
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	SI CUMPLE
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	SI CUMPLE
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	SI CUMPLE
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	SI CUMPLE
3/4"	19.000	0	0.0	0.0	100.0	100	100	SI CUMPLE
1/2"	12.500	650	12.7	12.70	87.3	80	100	SI CUMPLE
3/8"	9.500	611.5	12.0	24.7	75.3	70	88	SI CUMPLE
Nº4	4.750	681	13.4	38.1	61.9	51	68	SI CUMPLE
Nº8	2.360	500.5	9.8	47.9	52.1	44	60	SI CUMPLE
Nº10	2.000	251	4.9	52.8	47.2	38	52	SI CUMPLE
Nº16	1.180	380.15	7.5	60.3	39.7	32	46	SI CUMPLE
Nº30	0.600	421	8.3	68.6	31.4	24	37	SI CUMPLE
Nº40	0.425	383	7.5	76.1	23.9	17	28	SI CUMPLE
Nº50	0.300	400.5	7.9	84.0	16.0	13	23	SI CUMPLE
Nº100	0.150	301.35	5.9	89.9	10.1	9	15	SI CUMPLE
Nº200	0.075	270	5.3	95.2	4.8	4	8	SI CUMPLE
PASA Nº200		250	4.9	100	0	0	0	
SUMATORIA		5100.00						

PROPORCIÓN UTILIZADA:	<b>38 % A.G.</b>
	<b>57 % A.F.</b>
	<b>5 % Filler</b>





#### 4.1.1.1 Interpretación:

Con este ensayo se logró determinar, cuantitativamente los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.

Se determinó la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra seca del agregado, por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.

Este ensayo fue esencial para lograr obtener las proporciones de los agregados que serán utilizados en el diseño de la mezcla.

#### 4.1.1.2 Desgaste los Ángeles.

##### 4.1.1.2.1 Cálculos y resultados:

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES													
<b>RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR IMPACTO Y ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>													
(Basado en ASTM C 131)													
TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS												
AUTORES:	INFANTE ATAU RIMA CARLOS ANDRE VAZQUEZ ALARCONDEYNIS HANZ												
ASESOR :	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA												
Proyecto:	<u>Verificación de la calidad</u>												
Material:	<u>Grava 3/4" - 1/4"</u>												
Precedencia:	<u>Cantera La Pluma del Gobierno Regional</u>												
Fecha de Muestreo:	<u>03/03/2016</u>												
Fecha de Ensayo:	<u>03/03/2016</u>												
Muestra N°:	<u></u>												
Tipo de granulometría:	<table border="1"><tr><td>Tipo B</td></tr></table>	Tipo B											
Tipo B													
Numero de esferas:	<table border="1"><tr><td>11</td></tr></table>	11											
11													
Carga abrasiva:	<table border="1"><tr><td>4584 ± 25</td></tr></table>	4584 ± 25											
4584 ± 25													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>MALLA</th> <th>PESOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pasa la malla de 3/4" y se retiene en la de 1/2"</td> <td>2500 g.</td> </tr> <tr> <td>Pasa la malla de 1/2" y se retiene en la de 3/8"</td> <td>2500 g.</td> </tr> <tr> <td>Peso total de la muestra de ensayo(W inicial)</td> <td>5000 g.</td> </tr> <tr> <td>Peso después de la prueba(W final)</td> <td>4028 g.</td> </tr> <tr> <td>% de Desgaste (W inicial - W final) / W inicial *100</td> <td><b>19.44 %</b></td> </tr> </tbody> </table>	MALLA	PESOS	Pasa la malla de 3/4" y se retiene en la de 1/2"	2500 g.	Pasa la malla de 1/2" y se retiene en la de 3/8"	2500 g.	Peso total de la muestra de ensayo(W inicial)	5000 g.	Peso después de la prueba(W final)	4028 g.	% de Desgaste (W inicial - W final) / W inicial *100	<b>19.44 %</b>
MALLA	PESOS												
Pasa la malla de 3/4" y se retiene en la de 1/2"	2500 g.												
Pasa la malla de 1/2" y se retiene en la de 3/8"	2500 g.												
Peso total de la muestra de ensayo(W inicial)	5000 g.												
Peso después de la prueba(W final)	4028 g.												
% de Desgaste (W inicial - W final) / W inicial *100	<b>19.44 %</b>												
Observaciones:	Material muestreado de la cantera												
<b>EL PORCENTAJE DE DESGASTE ESTA DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS POR LA NORMA QUE EQUIVALE AL 25% COMO MÁXIMO</b>													



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS"

Autores: Carlos André Infante Ataurima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

**RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO FINO POR IMPACTO Y ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ANGELES**

(Basado en ASTM C 131)

**TESIS:** ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

**AUTORES:** INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRE  
 VAZQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ

**ASESOR :** ING. NEPTÓN DAVID RUIZ SAAVEDRA

Proyecto: Verificación de la calidad Fecha de Muestreo: \_\_\_\_\_  
 Material: Arena Triturada Fecha de Ensayo: 03/03/2016  
 Precedencia: Cantera La Pluma del Gobierno Regional Muestra N°: \_\_\_\_\_

Tipo de granulometría: 

Tipo D
--------

  
 Numero de esferas: 

6
---

  
 Carga abrasiva: 

2500 ± 15
-----------

MALLA	PESOS
Pasa la malla N° 4 y se retiene en la Malla N°8	5000 g.
Peso total de la muestra de ensayo(W inicial)	5000 g.
Peso después de la prueba(W final)	4205 g.
% de Desgaste (W inicial - W final) / W inicial *100	<b>15.90 %</b>

Observaciones:  
EL PORCENTAJE DE DESGASTE ESTA DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS POR LA NORMA  
QUE EQUIVALE AL 25% COMO MÁXIMO

**4.1.1.2 Interpretación:**

Este ensayo representó el desgaste sufrido por los agregados gruesos y finos, empleándose la máquina de los ángeles, con una carga abrasiva que dependió de la granulometría de ensayo, para determinar el número de esferas que se introdujo en la máquina.



### 4.1.1.3 Equivalente de arena.

#### 4.1.1.3.1 Cálculos y resultados:

 <p><b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b>          FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO          ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL          LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</p> <p><b>FINOS PLÁSTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA</b>          ASTM D 2419</p>																																					
<p><b>TESIS:</b> ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS</p>																																					
<p><b>AUTORES:</b> INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRE          VAZQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ</p>																																					
<p><b>ASESOR :</b> ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA</p>																																					
<p>Proyecto: <b>Verificación de la calidad</b>          Material: <b>Arena Triturada</b>          Precedencia <b>Cantera La Pluma del Gobierno Regional</b></p>	<p>Fecha de Muestreo:          Fecha de Ensayo: <b>04/03/2016</b>          Muestra N°:</p>																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Hora de Entrada</b></td> <td>0: 00.00</td> <td>0: 03.00</td> <td>0: 06.00</td> </tr> <tr> <td><b>Hora de salida</b></td> <td>0: 10.00</td> <td>00:12.0</td> <td>00:14.0</td> </tr> <tr> <td><b>Hora de Entrada</b></td> <td>00:11.2</td> <td>00:14.1</td> <td>00:17.2</td> </tr> <tr> <td><b>Hora de salida</b></td> <td>00:31.2</td> <td>00:34.1</td> <td>00:37.2</td> </tr> <tr> <td><b>Lectura de Arcilla</b></td> <td>6.40</td> <td>6.50</td> <td>6.50</td> </tr> <tr> <td><b>Lectura de Arena</b></td> <td>3.80</td> <td>3.60</td> <td>3.70</td> </tr> <tr> <td><b>Equivalente de Arena</b></td> <td>59.00 %</td> <td>55.00 %</td> <td>57.00 %</td> </tr> <tr> <td><b>Promedio</b></td> <td colspan="3">57.00 %</td> </tr> </tbody> </table>	MUESTRA	A	B	C	<b>Hora de Entrada</b>	0: 00.00	0: 03.00	0: 06.00	<b>Hora de salida</b>	0: 10.00	00:12.0	00:14.0	<b>Hora de Entrada</b>	00:11.2	00:14.1	00:17.2	<b>Hora de salida</b>	00:31.2	00:34.1	00:37.2	<b>Lectura de Arcilla</b>	6.40	6.50	6.50	<b>Lectura de Arena</b>	3.80	3.60	3.70	<b>Equivalente de Arena</b>	59.00 %	55.00 %	57.00 %	<b>Promedio</b>	57.00 %			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">\text{Equivalente de Arena (EA)} = \frac{\text{Lectura de arena} \times 100}{\text{Lectura de arcilla}}</math> </div>
MUESTRA	A	B	C																																		
<b>Hora de Entrada</b>	0: 00.00	0: 03.00	0: 06.00																																		
<b>Hora de salida</b>	0: 10.00	00:12.0	00:14.0																																		
<b>Hora de Entrada</b>	00:11.2	00:14.1	00:17.2																																		
<b>Hora de salida</b>	00:31.2	00:34.1	00:37.2																																		
<b>Lectura de Arcilla</b>	6.40	6.50	6.50																																		
<b>Lectura de Arena</b>	3.80	3.60	3.70																																		
<b>Equivalente de Arena</b>	59.00 %	55.00 %	57.00 %																																		
<b>Promedio</b>	57.00 %																																				
<p>Observaciones: <u>Cumple la especificación ya que es mayor al valor mínimo de 50%</u></p>																																					

#### 4.1.1.3.2 Interpretación:

Este ensayo fue muy importante para determinar qué porcentaje de arena se puede encontrar en los agregados finos, determinándose de esta manera lecturas tanto de arcilla y de arena usando el equipo necesario para el ensayo.



#### 4.1.1.4 Partículas fracturadas mecánicamente.

##### 4.1.1.4.1 Cálculos y resultados:

	<b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b> FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES																																					
<b>DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO</b>																																						
ASTM D 5821																																						
<b>TESIS:</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE POLIMEROS EVA Y SBS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS																																					
<b>AUTORES:</b>	INFANTE ATURIMA CARLOS ANDRE VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ																																					
<b>ASESOR:</b>	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA																																					
<b>Proyecto:</b>	<u>Verificación de la calidad</u>																																					
<b>Material:</b>	<u>Grava 3/4" - 1/4"</u>																																					
<b>Precedencia:</b>	<u>Cantera La Pluma del Gobierno Regional</u>																																					
<b>Fecha de Ensayo:</b>	<u>07/03/2016</u>																																					
Masa de partículas: <b>X</b> Criterio de caras fracturadas utilizado: <b>1 y 2 Caras</b> Muestra inicial de la granulometría (MT): <b>1500 g.</b>																																						
<b>1) CON UNA CARA FRACTURADA:</b> PESO INICIAL = <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1500.00 g.</span>																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TANAÑO DEL AGREGADO:</th> <th rowspan="2">A (g)</th> <th rowspan="2">B (g)</th> <th rowspan="2">C = (B/A) *100</th> <th rowspan="2">D (%)</th> <th rowspan="2">E = C*D</th> </tr> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO TAMIZ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td style="text-align: right;">435.00</td> <td style="text-align: right;">180.00</td> <td style="text-align: right;">41.38</td> <td style="text-align: right;">29.63</td> <td style="text-align: right;">1226.16</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td style="text-align: right;">533.00</td> <td style="text-align: right;">210.00</td> <td style="text-align: right;">39.40</td> <td style="text-align: right;">36.31</td> <td style="text-align: right;">1430.52</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>N° 4</td> <td style="text-align: right;">500.00</td> <td style="text-align: right;">150.00</td> <td style="text-align: right;">30.00</td> <td style="text-align: right;">34.06</td> <td style="text-align: right;">1021.80</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>TOTAL</b></td> <td style="text-align: right;">1468.00</td> <td style="text-align: right;">540.00</td> <td style="text-align: right;">110.78</td> <td style="text-align: right;">100.00</td> <td style="text-align: right;">3678.47</td> </tr> </tbody> </table>		TANAÑO DEL AGREGADO:		A (g)	B (g)	C = (B/A) *100	D (%)	E = C*D	PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	3/4"	1/2"	435.00	180.00	41.38	29.63	1226.16	1/2"	3/8"	533.00	210.00	39.40	36.31	1430.52	3/8"	N° 4	500.00	150.00	30.00	34.06	1021.80	<b>TOTAL</b>		1468.00	540.00	110.78	100.00	3678.47
TANAÑO DEL AGREGADO:		A (g)	B (g)						C = (B/A) *100	D (%)	E = C*D																											
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ																																					
3/4"	1/2"	435.00	180.00	41.38	29.63	1226.16																																
1/2"	3/8"	533.00	210.00	39.40	36.31	1430.52																																
3/8"	N° 4	500.00	150.00	30.00	34.06	1021.80																																
<b>TOTAL</b>		1468.00	540.00	110.78	100.00	3678.47																																
<b>PORCENTAJE DE UNA CARA=</b> $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$ = <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">36.78 %</span>																																						
<b>1) CON DOS CARAS FRACTURADAS:</b>																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TANAÑO DEL AGREGADO:</th> <th rowspan="2">A (g)</th> <th rowspan="2">B (g)</th> <th rowspan="2">C = (B/A) *100</th> <th rowspan="2">D (%)</th> <th rowspan="2">E = C*D</th> </tr> <tr> <th>PASA TAMIZ</th> <th>RETENIDO TAMIZ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td style="text-align: right;">435.00</td> <td style="text-align: right;">115.00</td> <td style="text-align: right;">26.44</td> <td style="text-align: right;">29.63</td> <td style="text-align: right;">783.38</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td style="text-align: right;">533.00</td> <td style="text-align: right;">150.00</td> <td style="text-align: right;">28.14</td> <td style="text-align: right;">36.31</td> <td style="text-align: right;">1021.80</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>N° 4</td> <td style="text-align: right;">500.00</td> <td style="text-align: right;">250.00</td> <td style="text-align: right;">50.00</td> <td style="text-align: right;">34.06</td> <td style="text-align: right;">1703.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>TOTAL</b></td> <td style="text-align: right;">1468.00</td> <td style="text-align: right;">515.00</td> <td style="text-align: right;">104.58</td> <td style="text-align: right;">100.00</td> <td style="text-align: right;">3508.17</td> </tr> </tbody> </table>		TANAÑO DEL AGREGADO:		A (g)	B (g)	C = (B/A) *100	D (%)	E = C*D	PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	3/4"	1/2"	435.00	115.00	26.44	29.63	783.38	1/2"	3/8"	533.00	150.00	28.14	36.31	1021.80	3/8"	N° 4	500.00	250.00	50.00	34.06	1703.00	<b>TOTAL</b>		1468.00	515.00	104.58	100.00	3508.17
TANAÑO DEL AGREGADO:		A (g)	B (g)						C = (B/A) *100	D (%)	E = C*D																											
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ																																					
3/4"	1/2"	435.00	115.00	26.44	29.63	783.38																																
1/2"	3/8"	533.00	150.00	28.14	36.31	1021.80																																
3/8"	N° 4	500.00	250.00	50.00	34.06	1703.00																																
<b>TOTAL</b>		1468.00	515.00	104.58	100.00	3508.17																																
<b>PORCENTAJE CON DOS CARAS=</b> $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$ = <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">35.08 %</span>																																						
A = PESO DE LA MUESTRA, g. B = PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS, g. C = PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS D = PORCENTAJE RETENIDO GRADACION ORIGINAL E = PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS																																						
<b>TOTAL DE CARAS FRACTURADAS:</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">71.87 %</span>																																						
Observaciones: Cumple la especificación ya que es mayor al valor mínimo de 70%																																						

##### 4.1.1.4.2 Interpretación:

Se determinó en porcentaje y en peso la cantidad de agregado grueso, que presentó una o dos caras fracturadas de una determinada muestra.



#### 4.1.1.5 Partículas planas y alargadas.

##### 4.1.1.5.1 Cálculos y resultados:

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PLANAS			ALARGADAS			PLANAS Y ALARGADAS		
Tamiz(Pulg)	Abertura(mm)	PESO RET.	% RET.	% Q' PASA	PESO	(%)	(%) Corregido	PESO	(%)	(%) Corregido	PESO	(%)	(%) Corregido
3/4"	19.050	0	0.00	100.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
1/2"	12.700	1450 g.	30.30	69.70	90	6.21	1.88	103	7.10	2.15	40	2.76	0.84
3/8"	8.750	1990 g.	41.59	58.41	60	3.02	1.25	57	2.86	1.19	35	1.76	0.73
Nº4	4.750	1345 g.	28.11	71.89	30	2.23	0.63	32	2.38	0.67	25	1.86	0.52
	TOTAL	4785 g.	100.00	0.00	180		3.76	192		4.01	100		2.09

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	4785 g.
PARTÍCULAS PLANAS, ALARGADAS Y PLANAS Y ALARGADAS	(%)	9.86

Observaciones: Cumple la especificación ya que es menor al valor máximo de 10%

##### 4.1.1.5.2 Interpretación:

Se determinó en porcentaje y en peso la cantidad del agregado grueso, que presentó partículas planas, partículas alargadas y partículas planas y alargadas, de una determinada muestra.





#### 4.1.1.6 Peso Específico y Absorción de agregado grueso.

##### 4.1.1.6.1 Cálculos y resultados:



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN  
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
**ENSAYO DE LABORATORIO**

#### Peso Específico y Absorción de los Agregados Gruesos

ASTM C 127 (AASHTO T 85)

<b>Tesis :</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS			
<b>Autores :</b>	INFANTE ATaurima CARLOS ANDRE	<b>Fecha</b>	05/03/2016	
	VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ			
<b>Asesor :</b>	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA			
<b>Muestra</b>	Agregado Grueso	<b>Peso</b>	2000gr	<b>Taras:</b> LEM 19

Datos de Muestra y Tara a Utilizar					
Descripción	W + T	T	Muestra	%	
LEM - 06 + Muestra	2110gr	110	2000	50.00%	
LEM - 100 + Muestra	2100gr	100	2000	50.00%	
			4000		

<b>*</b>	Peso de la Muestra Bruta	gr	2000	2000
<b>A</b>	Peso de Muestra Superficialmente seca	gr	2188	2178
<b>*</b>	Peso de la Canastia	gr	917	917
<b>*</b>	Peso de Canastia + Muestra Sumergida	gr	2975	2986
<b>B</b>	Peso en el agua de la muestra saturada	gr	1270	1256
<b>C</b>	Peso de la Muestra Seca	gr	2167	2156
<b>γ</b>	Peso específico del agua a la temperatura que se realizó el ensayo	gr/cm <sup>3</sup>	0.999	0.999
<b>(C/C-B)*γ</b>	Peso específico del material impermeable de las partículas	gr/cm <sup>3</sup>	2.413	2.393
<b>(A/A-B)*γ</b>	Peso específico de las partículas saturadas con superficie seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.381	2.360
<b>(C/A-B)*γ</b>	Peso específico de las partículas secas	gr/cm <sup>3</sup>	2.358	2.336
<b>(A-C/C)*100</b>	Absorción de agua	%	0.969	1.020
			<b>PROMEDIO :</b>	<b>0.995</b>

##### 4.1.1.6.2 Interpretación:

Este ensayo determina la gravedad específica y absorción del agregado grueso que sirve como base para el cálculo y determinación de gravedad específica teórica.



#### 4.1.1.7 Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

##### 4.1.1.7.1 Cálculos y resultados:



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
 ENSAYO DE LABORATORIO

**LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO e ÍNDICE PLÁSTICO**  
 ASTM D 4313 - AASHTO T 89

<b>Tesis :</b>	ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS		
<b>Autores</b>	INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRE VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ	<b>Fecha</b>	10/03/2016
<b>Asesor :</b>	ING. NEPTON RUIZ SAAVEDRA		

<b>Muestra</b>	Agregado Fino	<b>Peso</b>	200
----------------	---------------	-------------	-----

Datos de Ensayo		Límite Líquido			Límite Plástico	
1.-	Nº de Tara	1	2	3	C -1	-
2.-	Nº de Golpes	g.	28	30	30	
3.-	Peso de muestra humedad + tara	g.	60.12	61.24	61.44	26.15
4.-	Peso de muestra seca + tara	g.	53.72	54.44	54.48	25.13
5.-	Peso del agua	g.	6.4	6.8	6.96	1.02
6.-	Peso de tara	g.	23.1	23.1	23.1	19.6
7.-	Peso de muestra seca	g.	30.62	31.34	31.38	5.53
8.-	Contenido de humedad	%	20.90	21.70	22.18	18.44

<b>F O R M U L A S</b>	<b>M E T O D O</b>	<b>U N P U N T O</b>	$LL = \% \text{ Humedad} \times \left[ \frac{\text{Nº Golpe}}{25} \right]^{0.12}$
		<b>M U L T I P U N T O</b>	$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso muestra seca}} \times 100$

<b>Límite Líquido</b>	%	22.18
<b>Límite Plástico</b>	%	18.44
<b>Índice de Plasticidad</b>	%	3.74

##### 4.1.1.7.2 Interpretación:

Con este ensayo se determina el porcentaje de humedad del suelo que ha producido un cilindro de



aproximadamente 3,2 mm (1/8) de diámetro, (rodando dicho suelo entre una superficie lisa y la palma de la mano sin que se desmoronen). Es decir, el porcentaje o contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido.

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

#### 4.1.2 Ensayos al Asfalto:

##### 4.1.2.1 Penetración de materiales bituminosos:

##### 4.1.2.1.1 Cálculos y Resultados:



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 ENSAYO DE LABORATORIO

##### Índice de Penetración de Cementos Asfálticos

ASTM D 5 (AASHTO T 49)

<b>Tesis :</b>	"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS"		
<b>Autores :</b>	INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRE	<b>Fecha</b>	15/03/2016
<b>Asesor :</b>	VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ		

<b>Muestra</b>	Asfalto	<b>Peso</b>	500 gr	<b>Taras</b>	LEM 13
----------------	---------	-------------	--------	--------------	--------

Descripción	W + T	Tara	Muestra	%
Tara LEM 13 + Asfalto	164	104	60	100%
			60	100%

Ensayo de Penetración			
N° de Muestra	N° de Penetración	Lectura	Unidades
1	1	62	0.1 mm
	2	65	0.1 mm
	3	59.0	0.1 mm
	Promedio	62.0	0.1 mm
2	1	65	0.1 mm
	2	66	0.1 mm
	3	58	0.1 mm
	Promedio	63.0	0.1 mm
3	1	67	0.1 mm
	2	66	0.1 mm
	3	63.0	0.1 mm
	Promedio	65.3	0.1 mm
<b>Promedio Penetración</b>		62.7	
<b>Promedio (dm)</b>		62.7	



#### 4.1.2.1.2 Interpretación:

Con este ensayo se puede llegar a conocer cuál sería la consistencia y resistencia del material asfáltico, cuyo componente principal es el asfalto.

#### 4.1.3 Cuadro Resumen de Resultados obtenidos en ensayos a los agregados y al asfalto:

**TABLA N° 21:**

*Resumen de características de agregados a utilizar según Normas:*

ENSAYO	NORMA	EXIGENCIA	RESULTADO DE LABORATORIO
Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso.	MTC E 212	MAC - 2	SI CUMPLE
Resistencia al desgaste de agregado grueso de tamaño pequeño por impacto y abrasión en la máquina de los Ángeles. Grava 3/4. Arena triturada.	MTC E 207	40 % Max.	19.44%
			15.90%
			36.78/35.08
Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.	MTC E 210	85/50	36.78/35.08
Partículas planas, partículas alargadas, o partículas planas y alargadas en agregado grueso.	ASTM 4791	10% máx.	9.86%
Finos plásticos en agregado graduado y suelos por el uso del ensayo del equivalente de arena.	MTC E 114	60%	57%
Absorción Agregado Grueso	MTC E 206	1.0 % máx.	0.995%
Índice de Plasticidad (Malla N° 200)	MTC E 111	4 % máx.	3.74%
Absorción Agregado Fino	MTC E 205	0.5 % máx.	0.48%

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA N° 22:**

*Resumen de características del asfalto a utilizar según Normas.*

ENSAYO	NORMA	EXIGENCIA	RESULTADO DE LABORATORIO
Ensayo para la penetración de materiales bituminosos	ASTM D 5-97	55 - 70	62.7

**Fuente:** Elaboración Propia



#### 4.1.4 Diseño de la Mezcla Asfáltica Convencional:

##### 4.1.4.1 Dosificación de Agregados:

La dosificación de agregados obtenida del ensayo de Análisis Granulométrico ha sido un 51.70% de material grueso (grava), 48.30% de arena y 1.76% de filler del material antes dichos a utilizar.

La curva granulométrica no se dio exactamente en los límites dados por la normativa MTC E - 204, pero sí dio lugar a una curva granulométrica sensiblemente paralela a los límites de la franja inferior de la especificación.

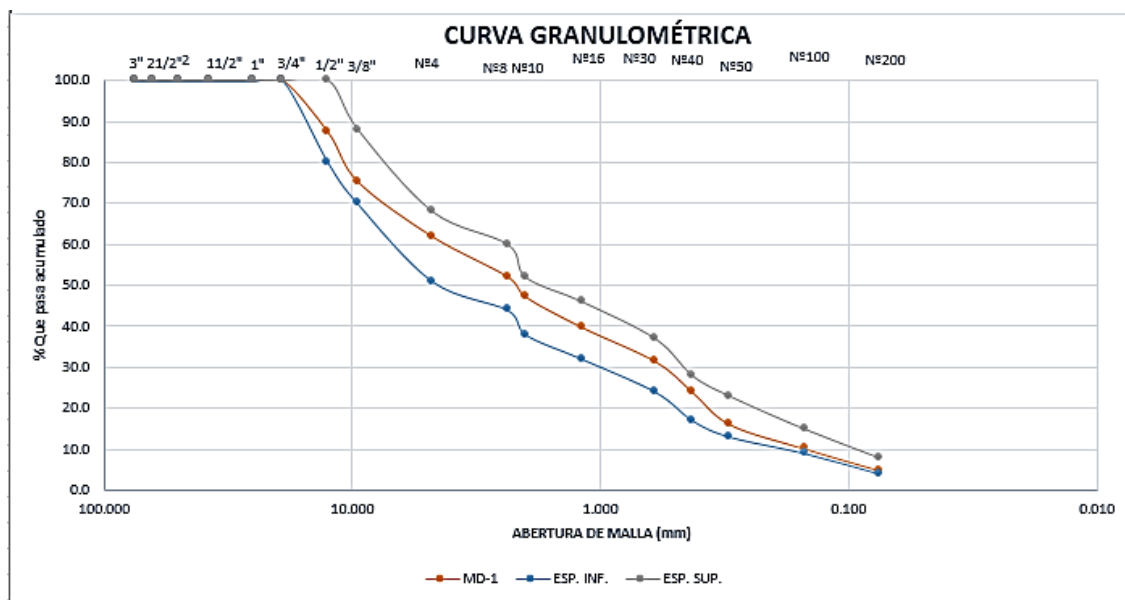


Figura N° 45: Curva Granulométrica obtenida del ensayo de análisis granulométrico.

Fuente: Elaboración Propia

##### 4.1.4.2 Diseño de la Mezcla:

En lo que respecta al diseño de mezcla se realizó a partir de probetas cilíndricas del tipo Marshall elaboradas de acuerdo a los procedimientos establecidos en la misma.

Para la selección del tipo de asfalto a utilizar se realizó varias pruebas con los siguientes asfaltos:

**Asfalto Convencional. (PEN 60-70)** - 12 briquetas, 3 por cada contenido de asfalto.



**Asfalto (PEN 60-70) Modificado con polímero EVA** - 5 briquetas, 3 por cada contenido de polímero EVA.

**Asfalto (PEN 60-70) Modificado con polímero SBS.** – 5 briquetas, 3 por cada contenido de polímero SBS.

Se realizaron las muestras necesarias por cada tipo de asfalto, y por cada porcentaje de asfalto siendo los rangos 4.7%, 5%, 5.3% y 5.6%; seleccionando al asfalto que logró obtener una mezcla óptima y que cumpla con los parámetros establecidos por la norma, siendo estos los siguientes:

#### **4.1.4.3 Elaboración de Briquetas:**

Antes de comenzar con la evaluación de criterios, fue necesario hablar sobre la elaboración de briquetas, las cuales se realizarán bajo el procedimiento planteado en la norma AASHTO T 245 y la aplicación del método Marshall.

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura, preparadas como se describe en la norma.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por cada tipo de asfalto, para cada una de las briquetas analizadas y para cada uno de los porcentajes de asfalto.

#### **4.1.4.4 Asfalto Convencional:**

##### **4.1.4.4.1 Proporciones de agregados para cada porcentaje de Asfalto:**

##### **4.1.4.4.2 Vacíos:**

##### **4.1.4.4.3 Densidad Bulk:**

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$



Tal como establece el procedimiento, se midió la altura del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo, se midió su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio.

Se calculó el volumen de la muestra de forma "geométrica" con base en la altura promedio y en la medida del diámetro, mediante la siguiente expresión para el cálculo de volumen de un cilindro.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Ya con el volumen fue posible estimar la densidad de la probeta para finalmente convertir la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> o 997.07 kg/m<sup>3</sup>, densidad del agua a 25°C (77°F).

A continuación se presentan las mediciones realizadas a cada una de las 3 briquetas y su gravedad bulk, para cada contenido de asfalto y para efectos de demostración se desarrolla el cálculo de una briqueta.

#### **EJEMPLO:**

#### **Contenido de asfalto 4.7%**

#### **Briqueta 1**

$$M = 1159 \text{ g}$$

$$D_{promedio} = 10.053 \text{ cm}$$

$$h_{promedio} = 6.34 \text{ cm}$$

Calculando el volumen se tiene:



$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi(10.053)^2(6.34)}{4}$$

$$V_{cilindro} = 503.18 \text{ cm}^3$$

Para la densidad:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

$$Densidad = \frac{1159}{503.18}$$

$$Densidad = 2.303 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por  $0.99707 \text{ g/cm}^3$  (Densidad del agua a  $25^\circ\text{C}$ ) para obtener gravedad específica Bulk (Geb):

$$Geb = \frac{2.303 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

$$Geb = 2.310$$

Y así sucesivamente se efectúa el cálculo de gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores.

El cálculo debe de realizarse para cada contenido de asfalto. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las briquetas analizadas y para cada uno de los contenidos de asfalto.





**TABLA N° 23:**

Calculo de la densidad de Bulk-Asfalto con 4.70%

PORCENTAJE DE ASFALTO :				4.70 %		
<b>BRIQUETA N° 1.1</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.050	h1	6.340	1159	<b>503.18</b>	<b>2.303</b>
d2	10.059	h2	6.330	<b>Geb = 2.310</b>		
d3	10.051	h3	6.360			
d4	10.050	h4	6.330			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.053</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.340</b>			
<b>BRIQUETA N° 1.2</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.040	h1	6.400	1162	<b>508.66</b>	<b>2.284</b>
d2	10.030	h2	6.420	<b>Geb = 2.291</b>		
d3	10.050	h3	6.400			
d4	10.040	h4	6.480			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.040</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.425</b>			
<b>BRIQUETA N° 1.3</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.030	h1	6.150	1173	<b>486.02</b>	<b>2.413</b>
d2	10.032	h2	6.140	<b>Geb = 2.421</b>		
d3	10.029	h3	6.150			
d4	10.033	h4	6.160			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.031</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.150</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.341</b>		

**Fuente:** Elaboración Propia.



**TABLA N° 24**

*Calculo de la densidad de Bulk-Asfalto con 5.0%*

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.00 %		
BRIQUETA N° 2.1						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.070	h1	6.440	1203	<b>512.90</b>	<b>2.345</b>
d2	10.069	h2	6.430	<b>Geb = 2.352</b>		
d3	10.071	h3	6.460			
d4	10.070	h4	6.430			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.070</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.440</b>			
BRIQUETA N° 2.2						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.140	h1	6.300	1206	<b>508.75</b>	<b>2.371</b>
d2	10.130	h2	6.320	<b>Geb = 2.377</b>		
d3	10.150	h3	6.300			
d4	10.140	h4	6.280			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.140</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.300</b>			
BRIQUETA N° 2.3						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.030	h1	6.150	1164	<b>486.02</b>	<b>2.395</b>
d2	10.032	h2	6.140	<b>Geb = 2.402</b>		
d3	10.029	h3	6.150			
d4	10.033	h4	6.160			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.031</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.150</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.377</b>		

**Fuente:** Elaboración Propia



**TABLA N° 25:**

*Calculo de la densidad de Bulk-Asfalto con 5.3%*

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.3 %		
<b>BRIQUETA N° 3.1</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
d1	9.900	h1	6.600	1211	<b>508.30</b>	<b>2.382</b>
d2	9.920	h2	6.620	<b>Geb = 2.389</b>		
d3	9.900	h3	6.600			
d4	9.890	h4	6.580			
PROMEDIO	<b>9.903</b>	PROMEDIO	<b>6.600</b>			
<b>BRIQUETA N° 3.2</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
d1	10.100	h1	6.290	1200	<b>505.75</b>	<b>2.373</b>
d2	10.120	h2	6.300	<b>Geb = 2.380</b>		
d3	10.100	h3	6.300			
d4	10.120	h4	6.310			
PROMEDIO	<b>10.110</b>	PROMEDIO	<b>6.300</b>			
<b>BRIQUETA N° 3.3</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
d1	10.120	h1	6.140	1130	<b>493.88</b>	<b>2.288</b>
d2	10.100	h2	6.120	<b>Geb = 2.295</b>		
d3	10.120	h3	6.140			
d4	10.140	h4	6.160			
PROMEDIO	<b>10.120</b>	PROMEDIO	<b>6.140</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.355</b>		

**Fuente:** Elaboración Propia.



**TABLA N° 26:**

*Cálculo de la densidad de Bulk-Asfalto con 5.6%*

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.6 %		
<b>BRIQUETA N° 4.1</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.150	h1	6.600	1189	<b>531.93</b>	<b>2.235</b>
d2	10.110	h2	6.580	<b>Geb = 2.242</b>		
d3	10.120	h3	6.620			
d4	10.140	h4	6.600			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.130</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.600</b>			
<b>BRIQUETA N° 4.2</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.100	h1	6.170	1185	<b>494.33</b>	<b>2.397</b>
d2	10.120	h2	6.160	<b>Geb = 2.404</b>		
d3	10.100	h3	6.170			
d4	10.080	h4	6.180			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.100</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.170</b>			
<b>BRIQUETA N° 4.3</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.160	h1	6.100	1142	<b>494.75</b>	<b>2.308</b>
d2	10.170	h2	6.100	<b>Geb = 2.315</b>		
d3	10.150	h3	6.120			
d4	10.160	h4	6.090			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.160</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.103</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.320</b>		

**Fuente:** Elaboración Propia



#### 4.1.4.4 Gravedad Específica Máxima Teórica:

Se presentan los resultados obtenidos para cada contenido de asfalto y se proporciona una guía de cálculo para determinar la gravedad específica, en la segunda columna de las siguientes tablas.

**TABLA N° 27**

*Gravedad Específica de la briqueta con 4.7% de Asfalto*

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS		
ASTM D 2041		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		4.7 %
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8153
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9638
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1015
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$G_{em} = A / (A(SSS))$	<b>2.463</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA N° 28:**

*Gravedad Específica de la briqueta con 5.0% de Asfalto*

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS		
ASTM D 2041		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		5.0 %
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8153
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9649
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1004
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$G_{em} = A / (A(SSS))$	<b>2.490</b>



**TABLA N° 29:**

*Gravedad Específica de la briqueta con 5.3% de Asfalto.*

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</b>		
<b>ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.3 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8153
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9637
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	A(SSS) = A + D - E	1016
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	Gem= A/(A(SSS))	<b>2.461</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA N° 30**

*Gravedad Específica de la briqueta con 5.6% de Asfalto*

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</b>		
<b>ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.6 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8153
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9621
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	A(SSS) = A + D - E	1032
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	Gem= A/(A(SSS))	<b>2.422</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.4.4.5 Cálculo de Vacíos:

Con los resultados anteriores en los que se calculó la gravedad específica Bulk y la gravedad específica máxima teórica se determina el contenido de vacíos para cada contenido de asfalto con la siguiente ecuación:

$$vacíos = \frac{G_{em} - G_{eb}}{G_{em}} \times 100$$



Dónde:

Gem = Gravedad específica máxima teórica

Geb = Gravedad específica Bulk (Valor promedio).

### EJEMPLO:

Para el contenido de asfalto de 3% se tienen los siguientes resultados:

Geb = 2.341 (valor promedio de las 2 briquetas)

Gem = 2.463

Sustituyendo en la ecuación de vacíos se tiene:

$$vacíos = \frac{2.463 - 2.341}{2.463} \times 100$$

$$vacíos = 4.97 \%$$

El cálculo se repite para los otros contenidos de asfalto y también para tránsito liviano y tránsito pesado; la siguiente tabla contiene los resultados obtenidos:

**TABLA N° 31**

*Contenido de Vacío de las briquetas.*

<b>% DE ASFALTO</b>	<b>VACÍOS</b>
4.70 %	<b>4.97</b>
5.00 %	<b>4.53</b>
5.30 %	<b>4.31</b>
5.60 %	<b>4.22</b>

**Fuente:** Elaboración Propia



#### 4.1.4.4.6 Desgaste en la Máquina de los Ángeles (Seco):

Se prepararon 2 probetas para cada contenido de asfalto y el ensayo se realizará procurando que la temperatura de ensayo estuviera comprendida entre 15° y 30° C, con una tolerancia máxima de  $\pm 1^\circ$  C como recomendación de la norma.

Luego se determinará la masa de cada probeta con aproximación de 0.1 g.

Se introdujo a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y, sin la carga abrasiva de las bolas, se hizo girar el tambor a la misma velocidad normalizada de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm) del ensayo de desgaste de agregados, pero durante 300 vueltas.

Al final del ensayo, se sacó la probeta y se determinó de nuevo su masa con la misma aproximación de 0.1 g.

Se calculó el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada mediante la expresión:

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Dónde:

P = valor de la pérdida por desgaste, en %,

W1 = masa inicial de la probeta, en gramos.

W2 = masa final de la probeta, en gramos.

Y por último se calculó el valor medio de las 2 probetas ensayadas, esto para cada contenido de asfalto.

#### **EJEMPLO:**

**Contenido de asfalto 5.3%**

**Briqueta 1:**

W1= 1187 gr

W2 = 812 gr

Evaluando la pérdida se tiene:





$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$
$$P = \frac{1187 - 812}{1187} \times 100$$
$$P = 31.59 \%$$

De igual forma se repite el cálculo para las otras briquetas y se promedia el valor para obtener la pérdida por desgaste promedio; los resultados a continuación.

**TABLA N° 32**

*Desgaste de los Ángeles a la mezcla del porcentaje optimo en tránsito liviano.*

CONTENIDO DE POLIMERO: Transito Liviano					5.0 %	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
1	26	26	1200.00	859.00	28.42	27.37
2	26	25	1184.00	863.00	27.11	
3	26	26	1196.00	878.00	26.59	

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N° 33**

*Desgaste de los Ángeles a la mezcla del porcentaje optimo en tránsito Pesado.*

CONTENIDO DE POLIMERO: Transito Pesado					5.3 %	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
1	26	25	1190.00	940.00	21.01	20.37
2	26	25	1176.00	948.00	19.39	
3	26	25	1188.00	942.00	20.71	

Fuente: Elaboración Propia



#### 4.1.4.5 Resultados Diseño Marshall-Tránsito Liviano.



### UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE ESTABILIDAD DE FLUJO - MARSHAL TRANSITO LIVIANO (2, 4 Y 6 Hrs)

AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

<b>Tesis</b> :	"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS"		
<b>Asesor</b> :	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA	<b>FECHA:</b>	08/04/2016
<b>Autores</b> :	INFANTE ATAU RIMA CARLOS ANDRE VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ		

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL										
BRIQUETAS	% DE Asfalto	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCIÓ N	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
2.1	5.0 %	512.90	9	2.30	160	64.4	0.978	555.31	543	OK
2.2	5.0 %	508.75	10	2.50	150	63.0	1.013	521.03	528	OK
2.3	5.0 %	486.02	8	2.00	147	61.5	1.056	510.74	539	OK
		<b>PROMEDIO</b>		<b>2.27</b>					<b>537</b>	<b>OK</b>

CONCLUSION:

Esta dentro de los rangos permisibles que señala la norma.

Fuente: Elaboración Propia



#### **4.1.4.5.1 Interpretación:**

En esta tabla se logran visualizar las lecturas de flujo y su conversión en (mm); y la lectura de estabilidad para luego ser convertidas con su factor de conversión obtenida de la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) y que depende de la altura de espécimen (Briqueta); para luego convertirlo en kilogramos, dichas tablas se anexaran en dicho proyecto.

Estas tablas se repetirán para todos las combinaciones de porcentajes de asfalto en el caso de convencional y de porcentaje de polímeros en el caso de asfalto modificado.



#### 4.1.4.6 Resumen de resultados diseño Marshall Tránsito Liviano:

Resultados Ensayos Marshall														
Briqueta	% Asfalto	Peso Aire	Peso Saturado. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb gr/cm3	Gmm gr/cm3	V.a %	VAM %	VAF %	Estabilidad (Kg)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
1.1	4.70 %	1159.00	1159.73	671.00	503.18	2.30	2.31	4.97	10.33	51.88	455.88	1.003	457.25	14
1.2	4.70 %	1162.00	1162.87	664.00	508.66	2.28	2.31	4.97	11.07	55.08	438.73	0.980	429.96	14
1.3	4.70 %	1173.00	1173.90	681.00	486.02	2.41	2.31	4.97	6.04	17.74	431.68	1.056	455.85	13
						2.33	2.31	4.97	9.15	41.57	442.10	1.01	447.69	14
2.1	5.00 %	1203.00	1204.26	665.00	512.90	2.35	2.32	4.53	8.98	49.57	555.31	0.978	543.09	9
2.2	5.00 %	1206.00	1207.14	690.00	508.75	2.37	2.32	4.53	8.01	43.45	521.03	1.013	527.80	10
2.3	5.00 %	1164.00	1165.23	658.00	486.02	2.39	2.32	4.53	7.06	35.84	510.74	1.056	539.34	8
						2.37	2.32	4.53	8.01	42.95	529.03	1.02	536.75	9
						<b>Promedio</b>								
3.1	5.30 %	1211.00	1212.32	655.00	508.30	2.38	2.29	4.31	7.84	45.03	966.77	0.943	912	8
3.2	5.30 %	1200.00	1201.17	690.00	505.55	2.37	2.29	4.31	8.18	47.30	956.91	1.013	969	8
3.3	5.30 %	1130.00	1131.26	665.00	493.88	2.29	2.29	4.31	11.49	62.50	867.34	1.059	919	9
						2.35	2.29	4.31	9.17	51.61	930.34	1.01	933.18	8.33
						<b>Promedio</b>								
4.1	5.60 %	1189.00	1189.92	662.00	531.93	2.24	2.25	4.22	13.80	69.46	1241.08	0.943	1170	6
4.2	5.60 %	1185.00	1186.07	680.00	494.33	2.40	2.25	4.22	7.56	44.24	1343.94	1.049	1410	8
4.3	5.60 %	1142.00	1143.03	658.00	494.75	2.31	2.25	4.22	10.99	61.64	1138.21	1.071	1219	9
						2.31	2.25	4.22	10.78	58.45	1241.08	1.02	1266.38	7.67
						<b>Promedio</b>								

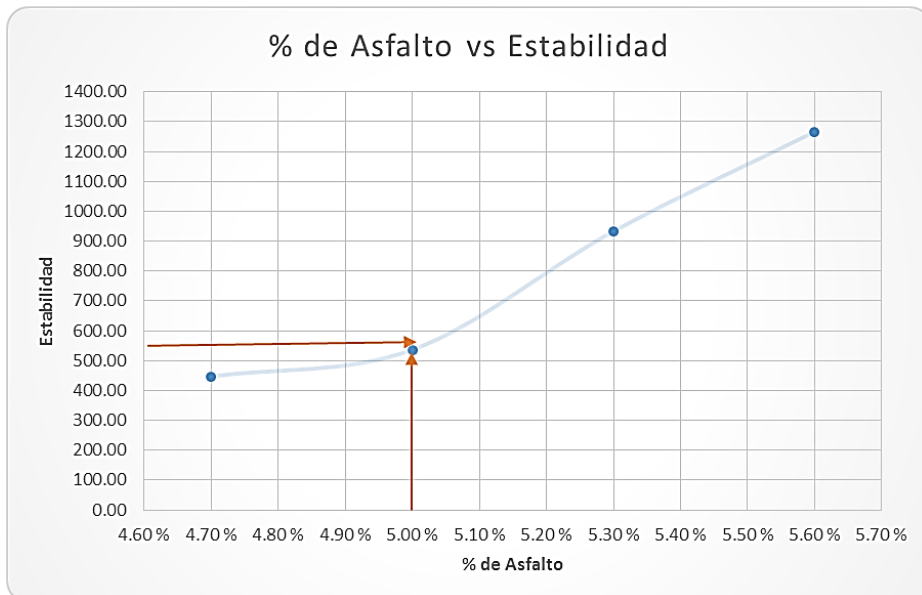


Figura N° 46: % de Asfalto vs Estabilidad Liviano.

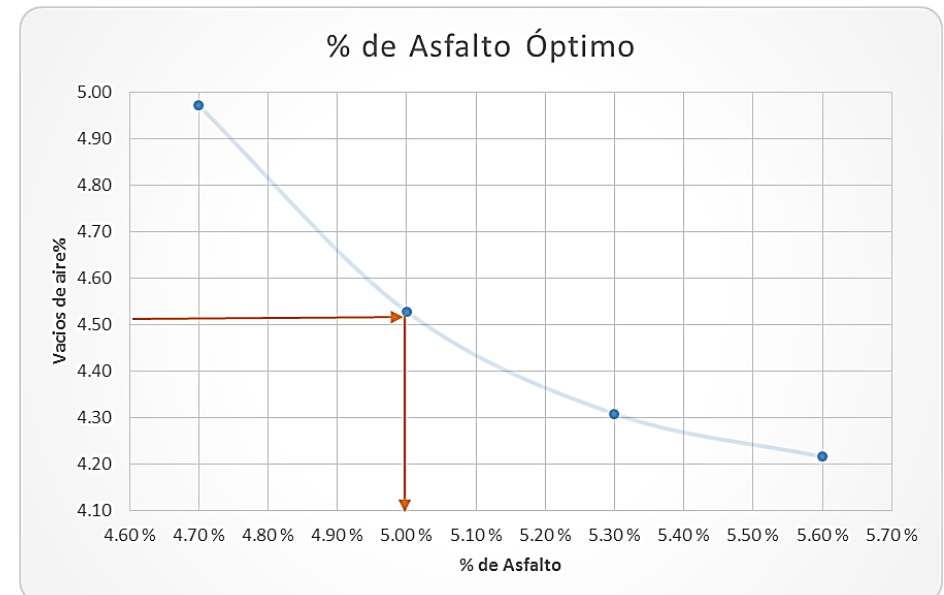


Figura N° 47: % de Asfalto Óptimo Liviano.

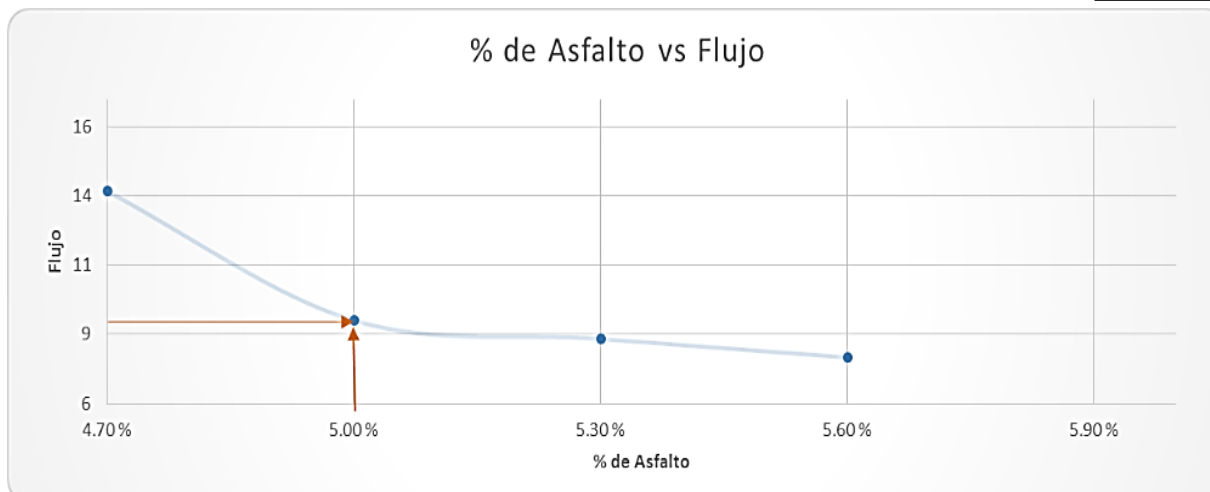


Figura N° 48: % de Asfalto vs flujo Liviano.

#### 4.1.4.6.1 Interpretación

Tabla de resumen y expresa el cálculo de las estabilidades y flujos y figuras 46, 47 y 48 son los vs que da origen a determinar el porcentaje óptimo de asfalto según los requerimientos del Ensayo Marshall en este caso es para Transito Liviano.



#### 4.1.4.7 Resultados Marshall –Tránsito Pesado



**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 :NSAYO DE ESTABILIDAD DE FLUJO - MARSHAL TRANSITO PESADO (2, 4 Y 6 Hrs)  
 AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

<b>Tesis</b> :	"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS"		
<b>Asesor</b> :	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA	<b>FECHA:</b>	12/04/2016
<b>Autores</b> :	INFANTE ATAU RIMA CARLOS ANDRE VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ		

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL										
BRIQUETAS	% DE Asfalto	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCIÓ N	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
7.1	5.3 %	482.62	12	3.00	340	60.0	1.103	1172.50	1293	OK
7.2	5.3 %	501.54	10	2.50	335	62.6	1.024	1155.36	1183	OK
7.3	5.3 %	486.95	9	2.30	330	62.0	1.040	1138.00	1184	OK
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.60</b>					<b>1220</b>	<b>OK</b>

**CONCLUSION:**

Resultados dentro de los rangos permisibles de la norma.

**Fuente:** Elaboración Propia



#### 4.1.4.7.1 Interpretación:

En esta tabla se logran visualizar las lecturas de flujo y su conversión en (mm); y la lectura de estabilidad para luego ser corregidas con su factor de corrección obtenida de la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) y que depende de la altura de espécimen (Briqueta); para luego convertirlo en kilogramos, dichas tablas se anexaran en dicho proyecto.

Estas tablas se repetirán para todos las combinaciones de porcentajes de asfalto en el caso de convencional y de porcentaje de polímeros en el caso de asfalto modificado, obteniéndose el resultado buscado.

#### 4.1.4.8 Resumen de resultados diseño Marshall Tránsito Pesado:

Resultados Ensayos Marshall-PESADO														
Briqueta	% Asfalto	Peso Aire	Peso Saturado. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb gr/cm3	Gmm gr/cm3	V.a %	VAM %	VAF %	Estabilidad (Kg)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
5.1	4.70 %	1176.00	1176.93	670.00	486.38	2.42	2.33	4.18	5.87	28.86	658	1.049	690	16.00
5.2	4.70 %	1187.00	1187.87	657.00	493.63	2.40	2.33	4.18	6.39	34.59	638	1.024	653	17.00
5.3	4.70 %	1182.00	1183.04	677.00	513.84	2.30	2.33	4.18	10.45	60.01	634	1.011	641	18.00
Promedio						2.37	2.33	4.18	7.57	41.15	643.32	1.028	661.50	17
6.1	5.00 %	1154.00	1155.17	658.00	478.31	2.41	2.33	3.55	6.37	44.31	764	1.074	821	14.00
6.2	5.00 %	1189.00	1189.36	691.00	485.74	2.45	2.33	3.55	5.01	29.15	761	1.053	802	13.00
6.3	5.00 %	1155.00	1156.01	700.00	489.52	2.36	2.33	3.55	8.44	57.94	744	1.068	794	15.00
Promedio						2.41	2.33	3.55	6.61	43.80	756.59	1.065	805.76	14
7.1	5.30 %	1169.00	1169.87	668.00	482.62	2.42	2.31	3.46	6.30	45.03	1173	1.103	1293	12
7.2	5.30 %	1190.00	1190.92	670.00	501.54	2.37	2.31	3.46	8.21	57.85	1155	1.024	1183	10
7.3	5.30 %	1163.00	1164.12	700.00	486.95	2.39	2.31	3.46	7.61	54.50	1138	1.040	1184	9
Promedio						2.39	2.31	3.46	7.37	52.46	1155.29	1.056	1219.96	10.33
8.1	5.60 %	1223.00	1223.46	697.00	501.35	2.44	2.31	3.14	5.93	47.12	1502	1.021	1533	10
8.2	5.60 %	1201.00	1201.29	686.00	505.55	2.38	2.31	3.14	8.39	62.62	1515	1.011	1532	8
8.3	5.60 %	1200.00	1200.61	697.00	495.63	2.42	2.31	3.14	6.63	52.72	1488	1.071	1594	7
Promedio						2.41	2.31	3.14	6.99	54.15	1501.67	1.03	1552.95	8.33

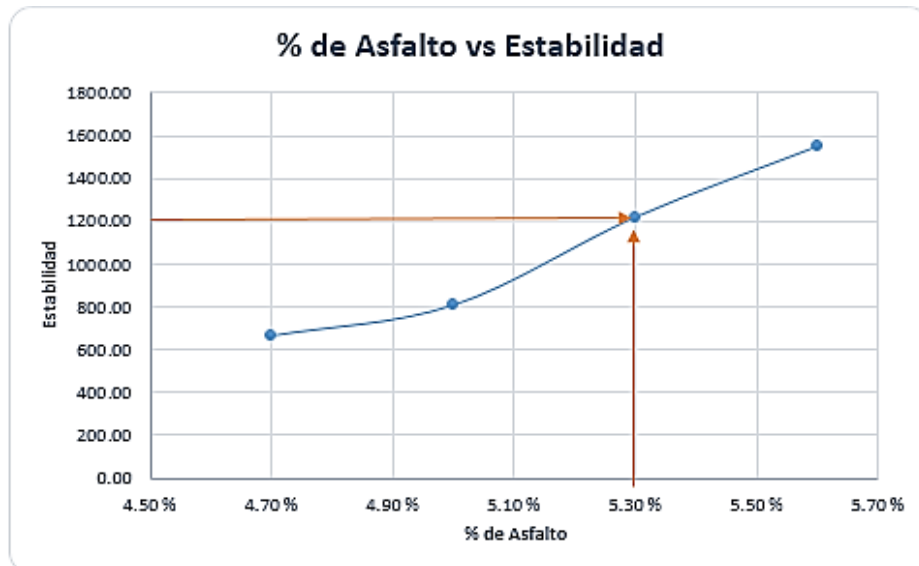


Figura N° 49: % de Asfalto vs Estabilidad Pesado.

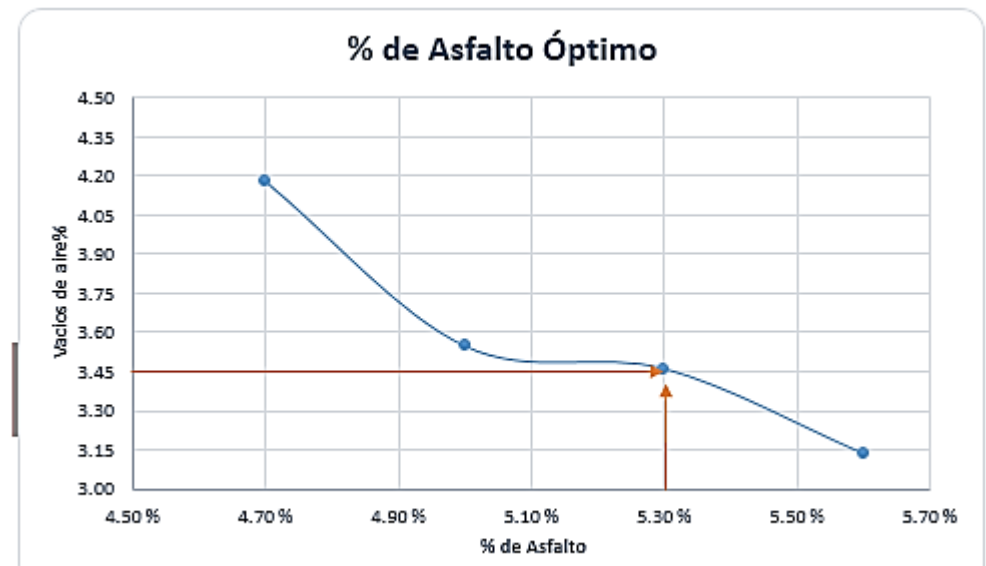


Figura N° 50: % de Asfalto Óptimo Pesado.

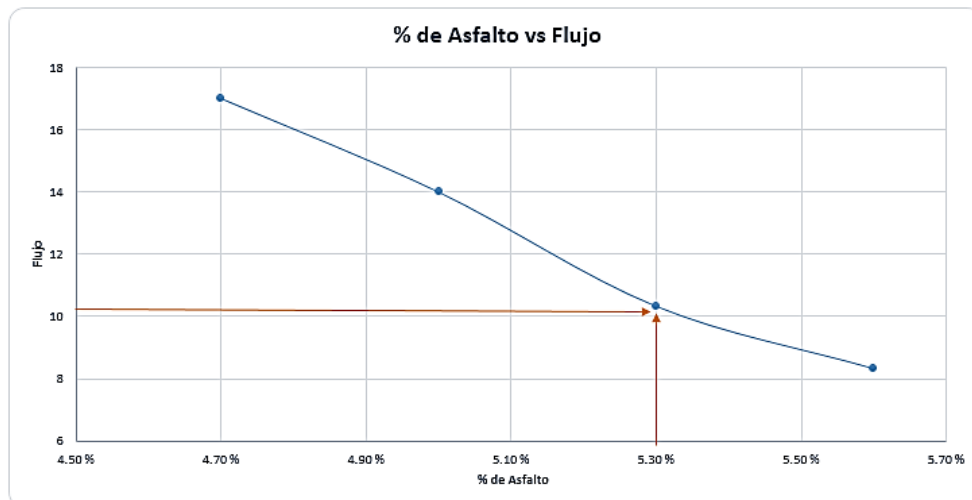


Figura N° 51: % de Asfalto vs flujo Pesado.

#### 4.1.4.8.1 Interpretación

Tabla de resumen y expresa el cálculo de las estabilidades y flujos y figuras 49, 50 y 51 son los vs que da origen a determinar el porcentaje óptimo de asfalto según los requerimientos del Ensayo Marshall en este caso es para Transito Liviano.





#### 4.1.5 ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO EVA:

Se hizo la interpretación del procedimiento de cálculo en este caso Transito Liviano (EVA) teniendo como ejemplo (4% EVA); para luego presentar solo el resumen del Ensayo Marshall para el caso de Tránsito Pesado (3 % EVA).

##### 4.1.5.1 Proporciones de agregados para cada porcentaje de polímero

**TABLA N° 34**

*Proporciones de agregados por cada porcentaje de polímero EVA.*

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		<b>5.00 %</b>
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		<b>1.76 %</b>
ASFALTO MODIFICADO-EVA	<b>60.00 g.</b>	<b>60.00 g.</b>
AGREGADO GRUESO	<b>590.40 g.</b>	<b>590.40 g.</b>
AGREGADO FINO	<b>528.48 g.</b>	<b>549.60 g.</b>
FILLER	<b>21.12 g.</b>	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		
<b>POLÍMERO EVA:</b>	<b>2.00 %</b>	<b>1.20 g.</b>
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	<b>0.24 %</b>	<b>0.14 g.</b>
TOTAL		60.00 g.

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		<b>5.00 %</b>
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		<b>1.76 %</b>
ASFALTO MODIFICADO-EVA	<b>60.00 g.</b>	<b>60.00 g.</b>
AGREGADO GRUESO	<b>590.40 g.</b>	<b>590.40 g.</b>
AGREGADO FINO	<b>528.48 g.</b>	<b>549.60 g.</b>
FILLER	<b>21.12 g.</b>	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		
<b>POLÍMERO EVA:</b>	<b>3.00 %</b>	<b>1.80 g.</b>
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	<b>0.36 %</b>	<b>0.22 g.</b>
TOTAL		60.00 g.



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		<b>5.00 %</b>
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		1.76 %
ASFALTO MODIFICADO-EVA	<b>60.00 g.</b>	<b>60.00 g.</b>
AGREGADO GRUESO	<b>590.40 g.</b>	<b>590.40 g.</b>
AGREGADO FINO	<b>528.48 g.</b>	<b>549.60 g.</b>
FILLER	<b>21.12 g.</b>	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>57.31 g.</b>
<b>POLÍMERO EVA:</b>	<b>4.00 %</b>	<b>2.40 g.</b>
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	<b>0.48 %</b>	<b>0.29 g.</b>
TOTAL		60.00 g.

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		<b>5.00 %</b>
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		1.76 %
ASFALTO MODIFICADO-EVA	<b>60.00 g.</b>	<b>60.00 g.</b>
AGREGADO GRUESO	<b>590.40 g.</b>	<b>590.40 g.</b>
AGREGADO FINO	<b>528.48 g.</b>	<b>549.60 g.</b>
FILLER	<b>21.12 g.</b>	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>56.64 g.</b>
<b>POLÍMERO EVA:</b>	<b>5.00 %</b>	<b>3.00 g.</b>
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	<b>0.60 %</b>	<b>0.36 g.</b>
TOTAL		60.00 g.

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		<b>5.00 %</b>
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		1.76 %
ASFALTO MODIFICADO-EVA	<b>60.00 g.</b>	<b>60.00 g.</b>



AGREGADO GRUESO	590.40 g.	590.40 g.
AGREGADO FINO	528.48 g.	549.60 g.
FILLER	21.12 g.	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>55.97 g.</b>
<b>POLÍMERO EVA:</b>	<b>6.00 %</b>	<b>3.60 g.</b>
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	<b>0.72 %</b>	<b>0.43 g.</b>
TOTAL		60.00 g.

**FUENTE:** Elaboración Propia

#### 4.1.5.2 Vacíos:

#### 4.1.5.3 Densidad Bulk:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Tal como establece el procedimiento, se midió el diámetro del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo, se midió su altura en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio.

Se calculó el volumen de la muestra de forma "geométrica" con base en la altura promedio y en la medida del diámetro, mediante la siguiente expresión para el cálculo de volumen de un cilindro.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Ya con el volumen fue posible estimar la densidad de la probeta para finalmente convertir la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> o 997.07 kg/m<sup>3</sup>, densidad del agua a 25°C (77°F).

A continuación se presentan las mediciones realizadas a cada una de las 3 briquetas y su gravedad bulk, para cada



contenido de asfalto y para efectos de demostración se desarrolla el cálculo de una briqueta.

### **EJEMPLO:**

#### **Contenido de polímero 5%**

#### **Briqueta 3.1**

$$M = 1175 \text{ g}$$

$$D_{\text{promedio}} = 10.080 \text{ cm}$$

$$h_{\text{promedio}} = 6.53 \text{ cm}$$

Calculando el volumen se tiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi(10.080)^2(6.53)}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 521.30 \text{ cm}^3$$

Para la densidad:

$$Densidad = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$Densidad = \frac{1175}{521.30}$$

$$Densidad = 2.254 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por  $0.99707 \text{ g/cm}^3$  (Densidad del agua a  $25^\circ\text{C}$ ) para obtener gravedad específica Bulk (Geb):

$$Geb = \frac{2.254 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

$$Geb = 2.261$$

Y así sucesivamente se efectúa el cálculo de gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores.



El cálculo debe de realizarse para cada contenido de asfalto. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las briquetas analizadas y para cada uno de los contenidos de asfalto.

**TABLA N° 35:**

Calculo de densidades de bulk.-2% Polímero Eva						
PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
BRIQUETA N° 1.1- 2% EVA						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	9.890	h1	6.300	1187	<b>492.40</b>	<b>2.411</b>
d2	9.900	h2	6.300	<b>Geb = 2.418</b>		
d3	9.880	h3	6.500			
d4	9.920	h4	6.500			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.898</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.400</b>			
BRIQUETA N° 1.2- 2% EVA						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.070	h1	6.410	1192	<b>510.71</b>	<b>2.334</b>
d2	10.070	h2	6.410	<b>Geb = 2.341</b>		
d3	10.070	h3	6.410			
d4	10.070	h4	6.420			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.070</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.413</b>			
BRIQUETA N° 1.3- 2% EVA						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	9.980	h1	6.410	1196	<b>497.66</b>	<b>2.403</b>
d2	9.970	h2	6.370	<b>Geb = 2.410</b>		
d3	9.980	h3	6.320			
d4	9.980	h4	6.360			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.978</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.365</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.390</b>		

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA N° 36**

Cálculo de densidades de bulk-3 %Polímero Eva						
PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
BRIQUETA N° 2.1 - 3% EVA						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

d1	9.800	h1	6.400	1200	<b>480.86</b>	<b>2.496</b>
d2	9.800	h2	6.300	<b>Geb = 2.503</b>		
d3	9.800	h3	6.400			
d4	9.800	h4	6.400			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.800</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.375</b>			
<b>BRIQUETA Nº 2.2-3% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.020	h1	6.350	1184	<b>506.93</b>	<b>2.336</b>
d2	10.200	h2	6.370	<b>Geb = 2.342</b>		
d3	10.030	h3	6.320			
d4	10.030	h4	6.420			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.070</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.365</b>			
<b>BRIQUETA Nº 2.3-3% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	9.910	h1	6.300	1196	<b>483.71</b>	<b>2.473</b>
d2	9.900	h2	6.320	<b>Geb = 2.480</b>		
d3	9.900	h3	6.300			
d4	9.910	h4	6.190			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.905</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.278</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.442</b>		

**Fuente:** Elaboración Propia.

**TABLA Nº 37**

*Calculo de densidades de bulk-4% Polímero Eva.*

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO :</b>				<b>5.0 %</b>		
<b>BRIQUETA Nº 3.1- 4% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	9.800	h1	6.190	1190	<b>478.71</b>	<b>2.486</b>
d2	9.810	h2	6.410	<b>Geb = 2.493</b>		
d3	9.800	h3	6.500			
d4	9.810	h4	6.260			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.805</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.340</b>			
<b>BRIQUETA Nº 3.2- 4 %EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.100	h1	6.500	1176	<b>524.81</b>	<b>2.241</b>
d2	10.120	h2	6.600	<b>Geb = 2.247</b>		
d3	10.100	h3	6.560			
d4	10.120	h4	6.490			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.110</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.538</b>			
<b>BRIQUETA Nº 3.3- 4 %EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

d1	9.750	h1	6.100	1188	<b>462.15</b>	<b>2.571</b>
d2	9.720	h2	6.300	<b>Geb = 2.578</b>		
d3	9.720	h3	6.200			
d4	9.700	h4	6.300			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.723</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.225</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.440</b>		

Fuente: Elaboración Propia.

**TABLA N° 38**

Calculo de densidades de bulk-5% Polímero Eva.

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
<b>BRIQUETA N° 4.1- 5% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	9.900	h1	6.200	1195	<b>485.22</b>	<b>2.463</b>
d2	9.910	h2	6.150	<b>Geb = 2.470</b>		
d3	9.930	h3	6.400			
d4	9.910	h4	6.400			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.913</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.288</b>			
<b>BRIQUETA N° 4.2- 5% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.020	h1	6.480	1189	<b>509.40</b>	<b>2.334</b>
d2	10.020	h2	6.480	<b>Geb = 2.341</b>		
d3	10.020	h3	6.460			
d4	10.020	h4	6.420			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.020</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.460</b>			
<b>BRIQUETA N° 4.3- 5% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.000	h1	5.800	1064	<b>451.60</b>	<b>2.356</b>
d2	10.000	h2	5.700	<b>Geb = 2.363</b>		
d3	10.000	h3	5.700			
d4	10.000	h4	5.800			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.000</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>5.750</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.391</b>		

Fuente: Elaboración Propia.



**TABLA N° 39**

Calculo de densidades de Bulk-6% Polímero Eva.

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
<b>BRIQUETA N° 5.1- 6% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)	ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)	
d1	9.900	h1	6.280	1191	<b>493.04</b>	<b>2.416</b>
d2	9.890	h2	6.500	<b>Geb = 2.423</b>		
d3	9.920	h3	6.460			
d4	9.890	h4	6.380			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.900</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.405</b>			
<b>BRIQUETA N°5.2 -6% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)	ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)	
d1	10.000	h1	6.560	1192	<b>513.65</b>	<b>2.321</b>
d2	10.000	h2	6.520	<b>Geb = 2.327</b>		
d3	10.000	h3	6.530			
d4	10.000	h4	6.550			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.000</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.540</b>			
<b>BRIQUETA N°5.3 -6% EVA</b>						
DIÁMETROS (cm)	ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)	
d1	9.810	h1	6.400	1193	<b>488.99</b>	<b>2.440</b>
d2	9.860	h2	6.480	<b>Geb = 2.447</b>		
d3	9.810	h3	6.480			
d4	9.850	h4	6.400			
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.833</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.440</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.399</b>		

Fuente: Fuente Propia.

#### 4.1.5.4 Gravedad Específica Máxima Teórica:

Se presentan los resultados obtenidos para cada contenido de asfalto y se proporciona una guía de cálculo para determinar la gravedad específica, en la segunda columna de las siguientes tablas.





**TABLA N° 40**

Cálculo de *Gravedades Específicas*.

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9643
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1020
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$Gem = A/(A(SSS))$	<b>2.451</b>

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9658
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1005
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$Gem = A/(A(SSS))$	<b>2.488</b>

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9655
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1008
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$Gem = A/(A(SSS))$	<b>2.480</b>

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9633
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1030
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$Gem = A/(A(SSS))$	<b>2.427</b>
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		



PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9635
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	A(SSS) = A + D - E	1028
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$G_{em} = A/(A(SSS))$	<b>2.432</b>

**Fuente:** Fuente Propia.

#### 4.1.5.5 Cálculo de Vacíos:

Con los resultados anteriores en los que se calculó la gravedad específica Bulk y la gravedad específica máxima teórica se determina el contenido de vacíos para cada contenido de asfalto con la siguiente ecuación:

$$vacíos = \frac{G_{em} - G_{eb}}{G_{em}} \times 100$$

Dónde:

$G_{em}$  = Gravedad específica máxima teórica

$G_{eb}$  = Gravedad específica Bulk (Valor promedio).

#### EJEMPLO:

Para el contenido de polímero de 5% se tienen los siguientes resultados:

$G_{eb} = 2.318$  (valor promedio de las 3 briquetas)

$G_{em} = 2.390$

Sustituyendo en la ecuación de vacíos se tiene:

$$vacíos = \frac{2.39 - 2.318}{2.39} \times 100$$

$$vacíos = 3.00 \%$$

El cálculo se repite para los otros contenidos de asfalto y también para tránsito liviano y tránsito pesado; la siguiente tabla contiene los resultados obtenidos:



**TABLA N° 41**

*Cálculo de Gravedades Específicas.*

<b>% DE ASFALTO</b>	<b>% EVA</b>	<b>VACÍOS</b>
5.0 %	2.0 %	<b>2.50</b>
5.0 %	3.0 %	<b>1.84</b>
5.0 %	4.0 %	<b>1.64</b>
5.0 %	5.0 %	<b>1.48</b>
5.0 %	6.0 %	<b>1.35</b>

**FUENTE:** Elaboración Propia.

#### 4.1.5.6 Desgaste en la Máquina de los Ángeles (Seco):

Se prepararon 2 probetas para cada contenido de asfalto y el ensayo se realizará procurando que la temperatura de ensayo estuviera comprendida entre 15° y 30° C, con una tolerancia máxima de ± 1° C como recomendación de la norma.

Luego se determinará la masa de cada probeta con aproximación de 0.1 g.

Se introdujo a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y, sin la carga abrasiva de las bolas, se hizo girar el tambor a la misma velocidad normalizada de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm) del ensayo de desgaste de agregados, pero durante 300 vueltas.

Al final del ensayo, se sacó la probeta y se determinó de nuevo su masa con la misma aproximación de 0.1 g.

Se calculó el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada mediante la expresión:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Dónde:

P = valor de la pérdida por desgaste, en %,

W1 = masa inicial de la probeta, en gramos.

W2 = masa final de la probeta, en gramos.



Y por último se calculó el valor medio de las 2 probetas ensayadas, esto para cada contenido de asfalto.

**EJEMPLO:**

**Contenido de asfalto 3%**

**Briqueta 1:**

W1= 182 gr

W2 = 989 gr

Evaluando la pérdida se tiene:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

$$P = \frac{1192 - 989}{1192} \times 100$$

$$P = 17.03 \%$$

De igual forma se repite el cálculo para las otras briquetas y se promedia el valor para obtener la pérdida por desgaste promedio; los resultados a continuación.

**TABLA N° 42**

<i>Desgaste de los Ángeles para Tránsito Liviano</i>						
<b>CONTENIDO DE POLIMERO: Liviano Eva</b>					<b>2.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
1	26	25	1187.00	990.00	16.60	16.89
2	26	25	1192.00	989.00	17.03	
3	25	25	1196.00	992.00	17.06	
<b>CONTENIDO DE POLIMERO: Liviano Eva</b>					<b>3.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
1	26	25	1200.00	1008.00	16.00	15.89
2	26	25	1184.00	1000.00	15.54	
3	26	25	1196.00	1003.00	16.14	
<b>CONTENIDO DE POLIMERO: Liviano Eva</b>					<b>4.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
1	26	25	1190.00	1010.00	15.13	14.40
2	26	25	1176.00	1015.00	13.69	
3	26	25	1188.00	1017.00	14.39	
<b>CONTENIDO DE POLIMERO: Liviano Eva</b>					<b>5.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
1	25	25	1195.00	1030.00	13.81	14.02
2	25	25	1189.00	1025.00	13.79	
3	25	24	1064.00	910.00	14.47	
<b>CONTENIDO DE POLIMERO: Liviano Eva</b>					<b>6.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
1	26.5	26.5	1191.00	1045.00	12.26	12.44
2	26	25	1192.00	1040.00	12.75	
3	26	26	1193.00	1046.00	12.32	

**Fuente:** Elaboración Propia



#### 4.1.5.7 Resultados Diseño Marshall (Polímero 4% EVA – Transito liviano).

**TABLA N° 43**

*Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero EVA.*



**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 ENSAYO DE ESTABILIDAD DE FLUJO - MARSHAL TRANSITO LIVIANO (2, 4 Y 6 Hrs)  
 AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

<b>Tesis :</b>	"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"		
<b>Asesor :</b>	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA	<b>FECHA:</b>	30/04/2016
<b>Autores :</b>	INFANTE ATAURIMA CARLOS ANDRE VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ		

#### RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL

BRIQUETAS	% DE Asfalto	% DE EVA	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCIÓ N	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
3.1	5.0 %	4.0 %	477.39	10	2.50	438	63.2	1.008	1508.94	1521	OK
3.2	5.0 %	4.0 %	524.81	10	2.50	396	65.4	0.954	1367.94	1305	OK
3.3	5.0 %	4.0 %	462.15	9	2.30	340	62.3	1.032	1172.60	1210	OK
<b>PROMEDIO</b>			<b>488.12</b>	<b>9.67</b>	<b>2.43</b>	<b>391.33</b>	<b>63.62</b>	<b>1.00</b>	<b>1349.83</b>	<b>1345</b>	<b>OK</b>

**CONCLUSION:**

Incrementa su estabilidad en un 150.54% comparado con el convencional

**Fuente:** Elaboración Propia.



#### **4.1.5.7.1 Interpretación:**

En esta tabla se logran visualizar las lecturas de flujo y su conversión en (mm); y la lectura de estabilidad para luego ser convertidas con su factor de conversión obtenida de la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) y que depende de la altura de espécimen (Briqueta); para luego convertirlo en kilogramos, dichas tablas se anexaran en dicho proyecto.

Estas tablas se repetirán para todos las combinaciones de porcentajes de polímero en el caso de Transito Liviano y Pesado.



#### 4.1.5.8 Resumen de resultados diseño Marshall Polímero EVA Tránsito Liviano:

Resultados Ensayos Marshall														
Briqueta	% Eva	Peso Aire	Peso Saturado. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb gr/cm3	Gmm gr/cm3	V.a %	VAM %	VAF %	Estabilidad (Kg)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
1.1	2.00 %	1187.00	1188.39	658.00	492.40	2.41	2.32	2.50	3.50	28.40	1155.36	0.988	1141.50	13
1.2	2.00 %	1192.00	1193.02	664.00	510.71	2.33	2.32	2.50	6.56	61.86	1114.21	0.985	1097.50	12
1.3	2.00 %	1196.00	1197.16	667.00	497.66	2.40	2.32	2.50	3.79	33.98	1097.07	0.995	1091.58	11
						<b>2.38</b>	<b>2.32</b>	<b>2.50</b>	<b>4.62</b>	<b>41.41</b>	<b>1122.21</b>	<b>0.99</b>	<b>1110.19</b>	<b>12</b>
2.1	3.00 %	1200.00	1201.26	667.00	480.86	2.50	2.32	1.84	1.12	-64.91	743.90	0.993	738.69	7
2.2	3.00 %	1184.00	1156.14	665.00	506.93	2.34	2.32	1.84	7.45	75.27	1069.64	0.995	1064.29	9
2.3	3.00 %	1196.00	1197.23	667.00	483.71	2.47	2.32	1.84	2.03	9.09	1429.66	1.019	1456.82	13
<b>Promedio</b>						<b>2.43</b>	<b>2.32</b>	<b>1.84</b>	<b>3.53</b>	<b>6.48</b>	<b>1081.07</b>	<b>1.00</b>	<b>1086.60</b>	<b>10</b>
3.1	4.00 %	1190.00	1191.64	667.00	477.39	2.49	2.32	1.64	2.25	27.12	1508.94	1.008	1521	10
3.2	4.00 %	1176.00	1137.17	660.00	524.81	2.24	2.32	1.64	12.13	86.50	1367.94	0.954	1305	10
3.3	4.00 %	1188.00	1189.26	667.00	462.15	2.57	2.32	1.64	-0.81	302.85	1172.60	1.032	1210	9
<b>Promedio</b>						<b>2.43</b>	<b>2.32</b>	<b>1.64</b>	<b>4.52</b>	<b>138.82</b>	<b>1349.83</b>	<b>1.00</b>	<b>1345.38</b>	<b>9.67</b>
4.1	5.00 %	1195.00	1196.92	664.00	485.22	2.46	2.32	1.48	4.42	66.62	1172.50	1.016	1191	10
4.2	5.00 %	1189.00	1190.00	663.00	509.40	2.33	2.32	1.48	9.42	84.32	1206.79	0.973	1174	10
4.3	5.00 %	1064.00	1065.25	590.00	451.60	2.36	2.32	1.48	8.57	82.76	1241.08	1.181	1466	9.5
						<b>2.38</b>	<b>2.32</b>	<b>1.48</b>	<b>7.47</b>	<b>77.90</b>	<b>1206.79</b>	<b>1.06</b>	<b>1277.06</b>	<b>9.83</b>
5.1	6.00 %	1191.00	1192.00	655.00	493.04	2.42	2.32	1.35	7.24	81.33	1309.65	0.985	1290	14
5.2	6.00 %	1192.00	1198.07	653.00	513.65	2.32	2.32	1.35	10.89	87.58	1378.23	0.954	1315	12
5.3	6.00 %	1193.00	1193.89	649.00	488.99	2.44	2.32	1.35	6.32	78.60	1463.95	0.978	1432	11
<b>Promedio</b>						<b>2.39</b>	<b>2.32</b>	<b>1.35</b>	<b>8.15</b>	<b>82.51</b>	<b>1383.94</b>	<b>0.97</b>	<b>1345.53</b>	<b>12.33</b>

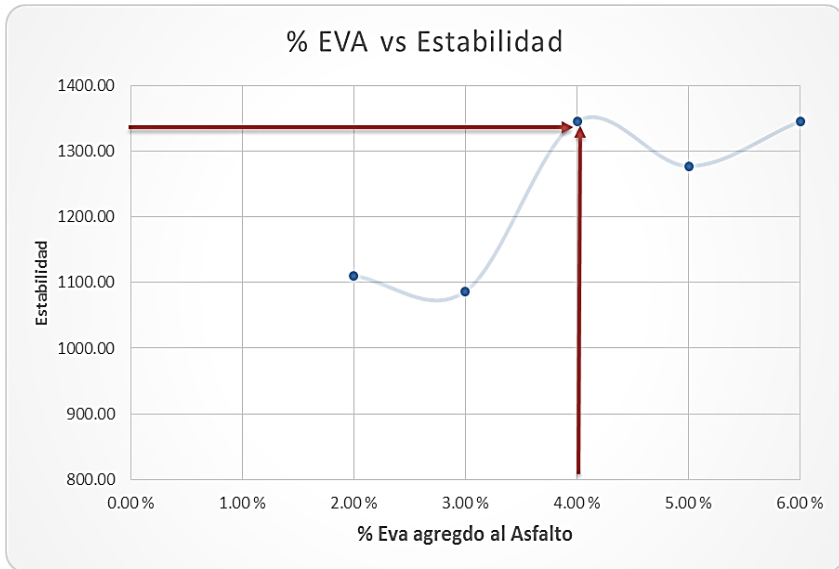


Figura N° 52: % de EVA vs Estabilidad Liviano.

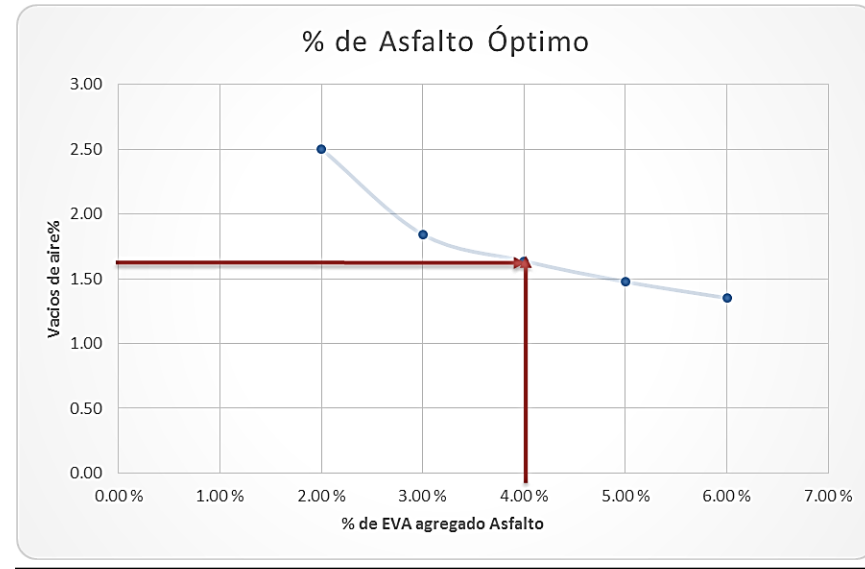


Figura N° 53: % de EVA Optimo Liviano.

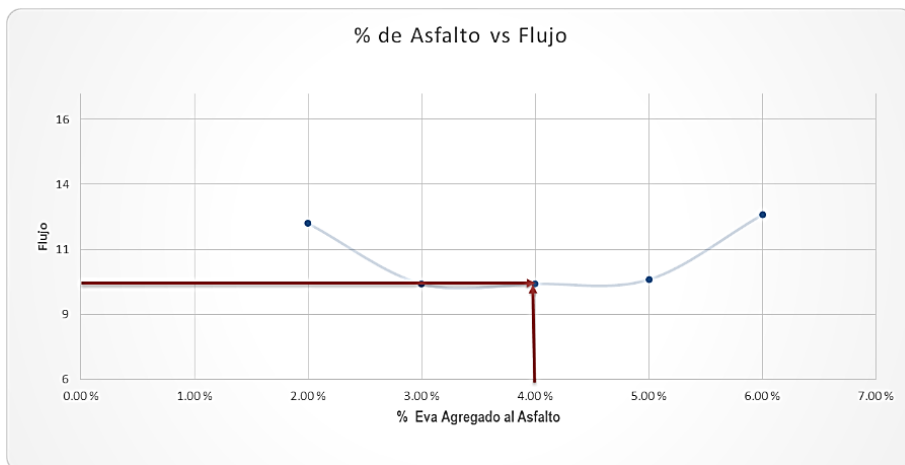


Figura N° 54: % de EVA vs flujo Liviano.

#### 4.1.5.8.1 Interpretación.

Tabla de resumen y expresan el cálculo de las estabilidades y flujos y los figuras 52, 53 y 54 son los vs que da origen a determinar el porcentaje óptimo de asfalto según los requerimientos del Ensayo Marshall en este caso es para Transito Liviano con polímero EVA.





#### 4.1.5.9 Resultados Diseño Marshall (Polímero 3% EVA – Tránsito Pesado).

**TABLA N° 44**

*Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero Eva.*



**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 ENSAYO DE ESTABILIDAD DE FLUJO - MARSHAL TRANSITO PESADO (2, 4 Y 6 Hrs) -POLIMERO SBS  
 AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

<b>Tesis :</b>	"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"		
<b>Asesor :</b>	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA	<b>FECHA:</b>	30/04/2016
<b>Autores :</b>	INFANTE ATAURIMA CARLOS ANDRE VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ		

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL											
BRIQUETAS	% DE Asfalto	% DE EVA	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCIÓ N	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
2.1	5.3 %	3.0 %	489.92	9	2.30	415	61.2	1.065	1429.66	1523	OK
2.2	5.3 %	3.0 %	484.72	8	2.00	396	60.5	1.087	1364.51	1483	OK
2.3	5.3 %	3.0 %	492.18	8	2.00	352	61.3	1.062	1213.65	1289	OK
PROMEDIO			488.94	8.33	2.10	387.67	60.97	1.07	1335.94	1432	OK

**CONCLUSION:**

Incrementa en un 17.34%

**Fuente:** Elaboración Propia.



#### **4.1.5.9.1 Interpretación:**

En esta tabla se logran visualizar las lecturas de flujo y su conversión en (mm); y la lectura de estabilidad para luego ser convertidas con su factor de conversión obtenida de la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) y que depende de la altura de espécimen (Briqueta); para luego convertirlo en kilogramos, dichas tablas se anexaran en dicho proyecto.

Estas tablas se repetirán para todos las combinaciones de porcentajes de polímero en el caso de Transito Liviano y Pesado.



#### 4.1.5.10 Resumen de resultados diseño Marshall Polímero EVA Tránsito Pesado:

Resultados Ensayos Marshall														
Briqueta	% Eva	Peso Aire	Peso Saturado. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb gr/cm3	Gmm gr/cm3	V.a %	VAM %	VAF %	Estabilidad (Kg)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
1.1	2.00 %	1162.00	1162.98	655.00	484.78	2.40	2.31	1.55	4.04	61.69	1868.55	1.096	2048	8
1.2	2.00 %	1140.00	1141.02	650.00	474.50	2.40	2.31	1.55	3.82	59.46	1806.83	1.128	2038	6
1.3	2.00 %	1163.00	1164.16	656.00	482.31	2.41	2.31	1.55	3.47	55.36	1727.97	1.096	1894	6
						<b>2.40</b>	<b>2.31</b>	<b>1.55</b>	<b>3.78</b>	<b>58.84</b>	<b>1801.12</b>	<b>1.11</b>	<b>1993.30</b>	<b>7</b>
2.1	3.00 %	1165.00	1166.26	665.00	489.92	2.38	2.31	1.49	5.78	74.14	1429.66	1.065	1523	9
2.2	3.00 %	1155.00	1156.14	662.00	484.72	2.38	2.31	1.49	5.58	73.24	1364.51	1.087	1483	8
2.3	3.00 %	1170.00	1171.23	667.00	492.18	2.38	2.31	1.49	5.81	74.28	1213.65	1.062	1289	8
<b>Promedio</b>						<b>2.38</b>	<b>2.31</b>	<b>1.49</b>	<b>5.72</b>	<b>73.89</b>	<b>1335.94</b>	<b>1.07</b>	<b>1431.57</b>	<b>8</b>
3.1	4.00 %	1172.00	1172.64	655.00	497.70	2.35	2.31	1.26	7.65	83.48	1182.79	1.068	1263	9
3.2	4.00 %	1160.00	1160.87	654.00	494.73	2.34	2.31	1.26	8.05	84.29	1103.92	1.046	1155	8
3.3	4.00 %	1180.00	1181.26	656.00	498.74	2.37	2.31	1.26	7.22	82.48	1213.65	1.032	1252	8
<b>Promedio</b>						<b>2.36</b>	<b>2.31</b>	<b>1.26</b>	<b>7.64</b>	<b>83.42</b>	<b>1166.79</b>	<b>1.05</b>	<b>1223.47</b>	<b>8.33</b>
4.1	5.00 %	1156.00	1156.92	655.00	482.96	2.39	2.31	0.97	7.11	86.37	1498.24	1.066	1597	9
4.2	5.00 %	1151.00	1152.13	654.00	481.48	2.39	2.31	0.97	7.23	86.59	1378.23	1.084	1494	9
4.3	5.00 %	1163.00	1064.25	666.00	486.25	2.39	2.31	0.97	7.18	86.50	1367.84	1.065	1457	9
						<b>2.39</b>	<b>2.31</b>	<b>0.97</b>	<b>7.17</b>	<b>86.48</b>	<b>1414.77</b>	<b>1.07</b>	<b>1515.96</b>	<b>9.00</b>
5.1	6.00 %	1167.00	1168.00	655.00	491.48	2.37	2.31	0.47	8.82	94.64	2194.29	1.059	2324	10
5.2	6.00 %	1155.00	1156.07	653.00	492.73	2.34	2.31	0.47	9.99	95.26	2112.00	1.056	2230	9
5.3	6.00 %	1165.00	1166.89	654.00	484.69	2.40	2.31	0.47	7.70	93.86	2036.00	1.066	2170	9
<b>Promedio</b>						<b>2.37</b>	<b>2.31</b>	<b>0.47</b>	<b>8.84</b>	<b>94.59</b>	<b>2114.10</b>	<b>1.06</b>	<b>2241.47</b>	<b>9.33</b>

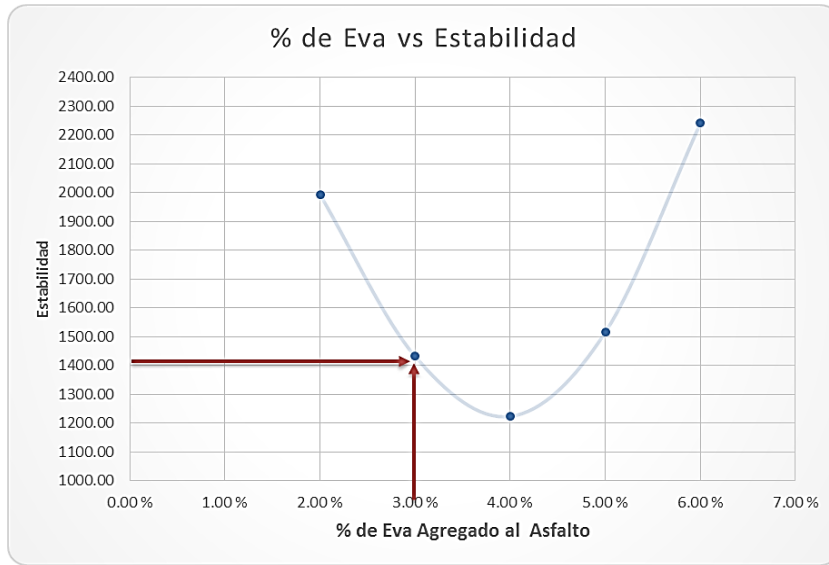


Figura N° 55: % de EVA vs Estabilidad Pesado

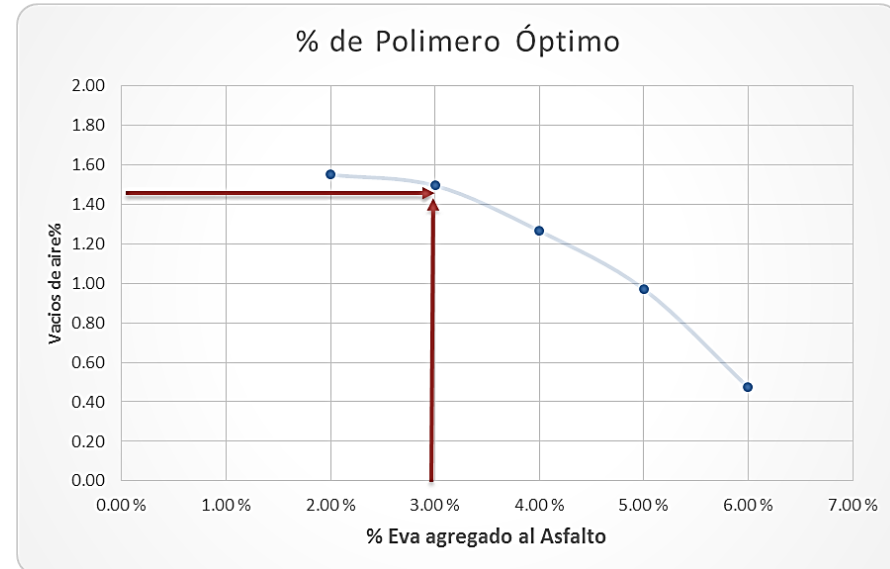


Figura N° 56: % de EVA Óptimo pesado.

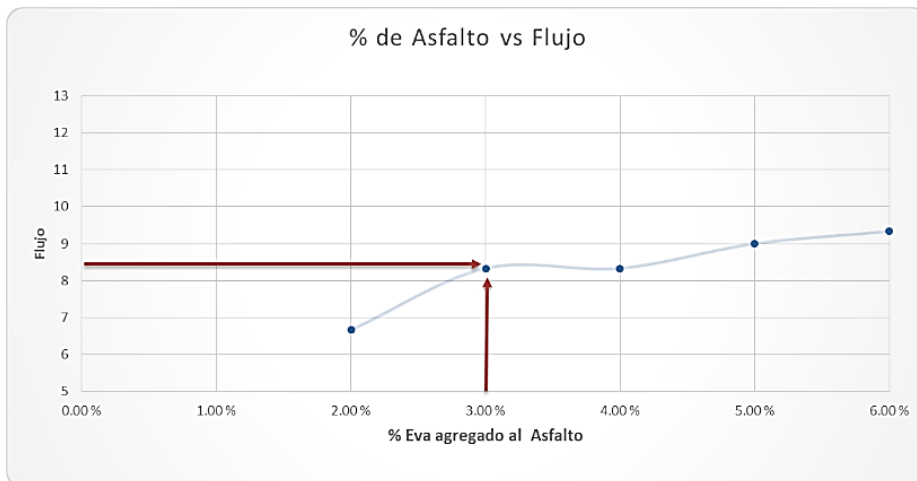


Figura N° 57: % de EVA vs flujo pesado.

#### 4.1.5.10.1 Interpretación.

Tabla de resumen expresan el cálculo de las estabildades y flujos y los figuras 55, 56 y 57 son los vs que da origen a determinar el porcentaje óptimo de polímero según los requerimientos del Ensayo Marshall en este caso es para Transito Liviano con polímero EVA.



#### 4.1.5.11 Desgaste en la Máquina de los Ángeles Polímero EVA (Seco):

**TABLA N° 45**

<i>Desgaste de los Ángeles Para Tránsito Pesado.</i>						
<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Pesado-Eva</b>					<b>2.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
1.1	26	25	1162.00	1042.00	10.33	10.39
1.2	25	25	1140.00	1025.00	10.09	
1.3	25	25	1163.00	1038.00	10.75	
<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Pesado-Eva</b>					<b>3.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
2.1	26	26	1165.00	1057.00	9.27	9.34
2.2	26	26	1155.00	1048.00	9.26	
2.3	26	26	1170.00	1059.00	9.49	
<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Pesado-Eva</b>					<b>4.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
3.1	26	25	1172.00	1067.00	8.96	8.74
3.2	26	25	1160.00	1059.00	8.71	
3.3	26	25	1180.00	1079.00	8.56	
<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Pesado-Eva</b>					<b>5.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
4.1	25	25	1156.00	1057.00	8.56	8.82
4.2	25	25	1151.00	1048.00	8.95	
4.3	25	24	1163.00	1059.00	8.94	
<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Pesado-Eva</b>					<b>6.0 %</b>	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA	MASA	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL	ANTES (gr)	DESPUES(gr)		
5.1	26.5	26.5	1167.00	1087.00	6.86	6.51
5.2	26	25	1155.00	1084.00	6.15	
5.3	26	26	1165.00	1089.00	6.52	

##### 4.1.5.11.1 Interpretación.

En la presente tabla se muestra el resultado del desgaste a la Abrasión en la Máquina de los Ángeles, de las diversas briquetas elaboradas con porcentajes de polímero diferentes.



#### 4.1.6 ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO SBS TRANSITO:

Se hizo la interpretación del procedimiento de cálculo en este caso Transito Liviano (SBS) teniendo como ejemplo (5% SBS); para luego presentar solo el resumen del Ensayo Marshall para el caso de Tránsito Pesado (4 % SBS).

##### 4.1.6.1 Proporciones de agregados para cada porcentaje de polímero:

**TABLA N° 46**

*Proporciones de agregados por cada porcentaje de polímero SBS.*

<b><u>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</u></b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		<b>5.00 %</b>
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		1.76 %
ASFALTO MODIFICADO-SBS	<b>60.00 g.</b>	<b>60.00 g.</b>
AGREGADO GRUESO	<b>590.40 g.</b>	<b>590.40 g.</b>
AGREGADO FINO	<b>528.48 g.</b>	<b>549.60 g.</b>
FILLER	<b>21.12 g.</b>	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		
<b>POLÍMERO SBS:</b>		<b>2.00 %</b>
<b>TOTAL</b>		60.00 g.
<b><u>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</u></b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		<b>5.00 %</b>
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		1.76 %
ASFALTO MODIFICADO-SBS	<b>60.00 g.</b>	<b>60.00 g.</b>
AGREGADO GRUESO	<b>590.40 g.</b>	<b>590.40 g.</b>
AGREGADO FINO	<b>528.48 g.</b>	<b>549.60 g.</b>
FILLER	<b>21.12 g.</b>	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		
<b>POLÍMERO SBS:</b>		<b>3.00 %</b>
<b>TOTAL</b>		60.00 g.



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

<b><u>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</u></b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		5.00 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		1.76 %
ASFALTO MODIFICADO-SBS	60.00 g.	60.00 g.
AGREGADO GRUESO	590.40 g.	590.40 g.
AGREGADO FINO	528.48 g.	549.60 g.
FILLER	21.12 g.	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		57.60 g.
<b>POLÍMERO SBS:</b>	4.00 %	2.40 g.
TOTAL		60.00 g.

<b><u>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</u></b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		5.00 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		1.76 %
ASFALTO MODIFICADO-SBS	60.00 g.	60.00 g.
AGREGADO GRUESO	590.40 g.	590.40 g.
AGREGADO FINO	528.48 g.	549.60 g.
FILLER	21.12 g.	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		57.00 g.
<b>POLÍMERO SBS:</b>	5.00 %	3.00 g.
TOTAL		60.00 g.



<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</b>		
<b>TOTAL PESO BRIQUETA:</b>		1200 g.
<b>PORCENTAJE DE ASFALTO:</b>		<b>5.00 %</b>
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO:</b>		49.20 %
<b>PORCENTAJE DE AGREGADO FINO:</b>		44.04 %
<b>PORCENTAJE DE FILLER:</b>		1.76 %
ASFALTO MODIFICADO-SBS	<b>60.00 g.</b>	<b>60.00 g.</b>
AGREGADO GRUESO	<b>590.40 g.</b>	<b>590.40 g.</b>
AGREGADO FINO	<b>528.48 g.</b>	<b>549.60 g.</b>
FILLER	<b>21.12 g.</b>	
TOTAL	1200.00 g.	1200.00 g.
<b>ASFALTO CONVENCIONAL:</b>		<b>56.40 g.</b>
<b>POLÍMERO SBS:</b>	<b>6.00 %</b>	<b>3.60 g.</b>
TOTAL		60.00 g.

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.6.2 Vacíos:

#### 4.1.6.3 Densidad Bulk:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Tal como establece el procedimiento, se midió el diámetro del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo, se midió su altura en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio.

Se calculó el volumen de la muestra de forma "geométrica" con base en la altura promedio y en la medida del diámetro, mediante la siguiente expresión para el cálculo de volumen de un cilindro.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Ya con el volumen fue posible estimar la densidad de la probeta para finalmente convertir la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> o 997.07 kg/m<sup>3</sup>, densidad del agua a 25°C (77°F).





A continuación se presentan las mediciones realizadas a cada una de las 3 briquetas y su gravedad bulk, para cada contenido de asfalto y para efectos de demostración se desarrolla el cálculo de una briqueta.

### EJEMPLO:

#### Contenido de polímero 5%

#### Briqueta 3.1

$$M = 1175 \text{ g}$$

$$D_{\text{promedio}} = 10.080 \text{ cm}$$

$$h_{\text{promedio}} = 6.53 \text{ cm}$$

Calculando el volumen se tiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi(10.080)^2(6.53)}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 521.30 \text{ cm}^3$$

Para la densidad:

$$Densidad = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$Densidad = \frac{1175}{521.30}$$

$$Densidad = 2.254 \text{ g/cm}^3$$

Dividiendo por  $0.99707 \text{ g/cm}^3$  (Densidad del agua a  $25^\circ\text{C}$ ) para obtener gravedad específica Bulk (Geb):



$$G_{eb} = \frac{2.254 \text{ g/cm}^3}{0.99707 \text{ g/cm}^3}$$

$$G_{eb} = 2.261$$

Y así sucesivamente se efectúa el cálculo de gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores.

El cálculo debe de realizarse para cada contenido de asfalto. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las briquetas analizadas y para cada uno de los contenidos de asfalto.

**TABLA N° 47**

*Cálculo de densidades de Bulk. Briquetas SBS Liviano.*

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
<b>BRIQUETA N° 1.1 -2% SBS</b>						
DIÁMETROS (cm)	ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)	
d1	10.090	h1	6.680	1192	<b>525.40</b>	<b>2.269</b>
d2	10.100	h2	6.450	<b>Geb = 2.261</b>		
d3	10.060	h3	6.450			
d4	10.120	h4	6.690			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.093</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.568</b>			
<b>BRIQUETA N° 1.2- 2%SBS</b>						
DIÁMETROS (cm)	ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)	
d1	10.040	h1	6.650	1185	<b>521.13</b>	<b>2.274</b>
d2	10.020	h2	6.680	<b>Geb = 2.281</b>		
d3	10.000	h3	6.500			
d4	10.100	h4	6.500			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.040</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.583</b>			
<b>BRIQUETA N° 1.3- 2% SBS</b>						
DIÁMETROS (cm)	ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)	
d1	10.100	h1	6.450	1190	<b>512.74</b>	<b>2.321</b>
d2	10.120	h2	6.400	<b>Geb = 2.328</b>		
d3	10.060	h3	6.380			
d4	10.080	h4	6.420			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.090</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.413</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.295</b>		



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
BRIQUETA Nº 2.1- 3%SBS						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.070	h1	5.740	1077	<b>442.88</b>	<b>2.432</b>
d2	10.090	h2	5.250	<b>Geb = 2.439</b>		
d3	10.090	h3	5.350			
d4	10.060	h4	5.870			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.078</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>5.553</b>			
BRIQUETA Nº 2.2 -3 % SBS						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.030	h1	6.390	1145	<b>514.40</b>	<b>2.226</b>
d2	10.050	h2	6.400	<b>Geb = 2.232</b>		
d3	10.050	h3	6.600			
d4	10.030	h4	6.600			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.040</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.498</b>			
BRIQUETA Nº 2.3- 3% SBS						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.100	h1	6.400	1160	<b>509.75</b>	<b>2.276</b>
d2	10.120	h2	6.250	<b>Geb = 2.282</b>		
d3	10.080	h3	6.500			
d4	10.100	h4	6.300			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.100</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.363</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.318</b>		

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
BRIQUETA Nº 3.1- 4%						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.060	h1	6.550	1175	<b>521.30</b>	<b>2.254</b>
d2	10.100	h2	6.470	<b>Geb = 2.261</b>		
d3	10.060	h3	6.540			
d4	10.100	h4	6.570			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.080</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.533</b>			
BRIQUETA Nº 3.2- 4 %						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.080	h1	6.520	1190	<b>517.74</b>	<b>2.298</b>
d2	10.080	h2	6.460	<b>Geb = 2.305</b>		
d3	10.100	h3	6.470			
d4	10.100	h4	6.450			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.090</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.475</b>			



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

BRIQUETA N° 3.3- 4 %						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.080	h1	6.200	1193	<b>515.09</b>	<b>2.316</b>
d2	10.080	h2	6.500	<b>Geb = 2.323</b>		
d3	10.070	h3	6.470			
d4	10.050	h4	6.700			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.070</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.468</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.296</b>		

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
BRIQUETA N° 4.1- 5% SBS						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.070	h1	6.480	1199	<b>517.88</b>	<b>2.315</b>
d2	10.090	h2	6.700	<b>Geb = 2.322</b>		
d3	10.070	h3	6.330			
d4	10.050	h4	6.500			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.070</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.503</b>			
BRIQUETA N° 4.2- 5% SBS						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.030	h1	6.500	1185	<b>513.61</b>	<b>2.307</b>
d2	10.050	h2	6.480	<b>Geb = 2.314</b>		
d3	10.050	h3	6.470			
d4	10.030	h4	6.500			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.040</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.488</b>			
BRIQUETA N° 4.3- 5%SBS						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.080	h1	6.320	1191	<b>515.12</b>	<b>2.312</b>
d2	10.100	h2	6.500	<b>Geb = 2.319</b>		
d3	10.060	h3	6.440			
d4	10.080	h4	6.560			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.080</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.455</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.318</b>		

PORCENTAJE DE ASFALTO :				5.0 %		
BRIQUETA N° 5.1- 6% SBS						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.130	h1	6.450	1194	<b>525.88</b>	<b>2.270</b>
d2	10.110	h2	6.400	<b>Geb = 2.277</b>		
d3	10.130	h3	6.650			
d4	10.150	h4	6.600			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.130</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.525</b>			



PROMEDIO	10.130	PROMEDIO	6.525			
<b>BRIQUETA Nº 5.2- 6 %SBS</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.110	h1	6.400	1190	<b>510.96</b>	<b>2.329</b>
d2	10.090	h2	6.360	<b>Geb = 2.336</b>		
d3	10.110	h3	6.380			
d4	10.090	h4	6.370			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.100</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.378</b>			
<b>BRIQUETA Nº 5.3- 6% SBS</b>						
DIÁMETROS (cm)		ALTURAS (cm)		MASA (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
d1	10.090	h1	6.400	1200	<b>521.74</b>	<b>2.300</b>
d2	10.090	h2	6.500	<b>Geb = 2.307</b>		
d3	10.100	h3	6.600			
d4	10.080	h4	6.600			
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.090</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>6.525</b>			
<b>PROMEDIO :</b>				<b>Geb = 2.307</b>		

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.6.4 Gravedad Específica Máxima Teórica:

Se presentan los resultados obtenidos para cada contenido de asfalto y se proporciona una guía de cálculo para determinar la gravedad específica, en la segunda columna de las siguientes tablas.

**TABLA Nº 48**

*Cálculo de Gravedades Específicas*

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9609
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1054
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$G_{em} = A / (A(SSS))$	<b>2.372</b>

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9619



PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1044
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$Gem = A/(A(SSS))$	<b>2.395</b>

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9608
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1055
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$Gem = A/(A(SSS))$	<b>2.370</b>

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9617
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1046
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$Gem = A/(A(SSS))$	<b>2.390</b>

<b>RAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041</b>		
PORCENTAJE DE ASFALTO:		<b>5.0 %</b>
PESO DE LA MUESTRA EN EL AIRE	A	2500
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA	D	8163
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA	E	9609
PESO DE MUESTRAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	$A(SSS) = A + D - E$	1054
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA</b>	$Gem = A/(A(SSS))$	<b>2.372</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.6.5 Cálculo de vacíos:

Con los resultados anteriores en los que se calculó la gravedad específica Bulk y la gravedad específica máxima teórica se determina el contenido de vacíos para cada contenido de asfalto con la siguiente ecuación:



$$vacíos = \frac{Gem - Geb}{Gem} \times 100$$

Dónde:

Gem = Gravedad específica máxima teórica

Geb = Gravedad específica Bulk (Valor promedio).

### EJEMPLO:

Para el contenido de polímero de 5% se tienen los siguientes resultados:

Geb = 2.318 (valor promedio de las 3 briquetas)

Gem = 2.390

Sustituyendo en la ecuación de vacíos se tiene:

$$vacíos = \frac{2.39 - 2.318}{2.39} \times 100$$

$$vacíos = 3.00 \%$$

El cálculo se repite para los otros contenidos de asfalto y también para tránsito liviano y tránsito pesado; la siguiente tabla contiene los resultados obtenidos:

**TABLA N° 49**

*Cálculo de Gravedades Específicas.*

<b>% DE ASFALTO</b>	<b>% SBS</b>	<b>VACÍOS</b>
5.0 %	2.0 %	<b>3.26</b>
5.0 %	3.0 %	<b>3.20</b>
5.0 %	4.0 %	<b>3.10</b>
5.0 %	5.0 %	<b>3.00</b>
5.0 %	6.0 %	<b>2.75</b>

**Fuente:** Elaboración Propia.



### 4.1.6.6 Desgaste en la Máquina de los Ángeles POLIMERO SBS (Seco):

**TABLA N° 50**

*Desgaste de los Angeles-Briquetas con Sbs-Liviano*

<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Liviano SBS</b>							<b>2.0 %</b>
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARÍA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
1	1192.00	25	25	1192.00	963.00	19.21	20.30
2	1185.00	25	25	1185.00	944.00	20.34	
3	1190.00	26	25	1190.00	936.00	21.34	
<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Liviano SBS</b>							<b>3.0 %</b>
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARÍA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
1	1077.00	25	24	1077.00	900.00	16.43	18.63
2	1145.00	26	25	1145.00	930.00	18.78	
3	1160.00	25	24	1160.00	920.00	20.69	
<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Liviano SBS</b>							<b>4.0 %</b>
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARÍA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
1	1175.00	24	25	1175.00	987.00	16.00	16.86
2	1190.00	24	25	1190.00	982.00	17.48	
3	1193.00	25	25	1193.00	989.00	17.10	
<b>CONTENIDO DE ASFALTO: Liviano SBS</b>							<b>5.0 %</b>
PROBETA	MASA ANTES DE BAÑO MARÍA (gr)	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
		INICIO	FINAL				
1	1199.00	25.5	25	1199.00	1068.00	10.93	10.60
2	1185.00	25	25	1185.00	1060.00	10.55	
3	1191.00	25	25.5	1191.00	1068.00	10.33	





**4.1.6.7 Resultados Diseño Marshall (Polímero 5% SBS – Transito liviano).**

**TABLA N° 51**

*Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero SBS.*



**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE ESTABILIDAD DE FLUJO - MARSHAL TRANSITO LIVIANO (2, 4 Y 6 Hrs)**  
**AASHTO T 245 (o ASTM D1559)**

<b>Tesis :</b>	"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"		
<b>Asesor :</b>	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA	<b>FECHA:</b>	27/04/2016
<b>Autores :</b>	INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRE VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ		

**RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL**

BRIQUETAS	% DE Asfalto	% DE SBS	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCIÓ N	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
4.4	5.0 %	5.0 %	517.88	11	<b>2.80</b>	323	<b>65.0</b>	0.963	1114.21	<b>1073</b>	OK
4.2	5.0 %	5.0 %	513.61	10	<b>2.50</b>	394	<b>64.9</b>	0.965	1357.66	<b>1310</b>	OK
4.3	5.0 %	5.0 %	515.12	9	<b>2.30</b>	437	<b>64.6</b>	0.973	1505.10	<b>1464</b>	OK
<b>PROMEDIO</b>			<b>515.54</b>	<b>10.00</b>	<b>2.53</b>	<b>384.67</b>	<b>64.82</b>	<b>0.97</b>	<b>1325.66</b>	<b>1283</b>	OK

**CONCLUSION:**

Incrementa la estabilidad en un 138.83% y el flujo es adecuado stando dentro de los rangos de la norma

**Fuente:** Elaboración Propia.



#### **4.1.6.7.1 Interpretación:**

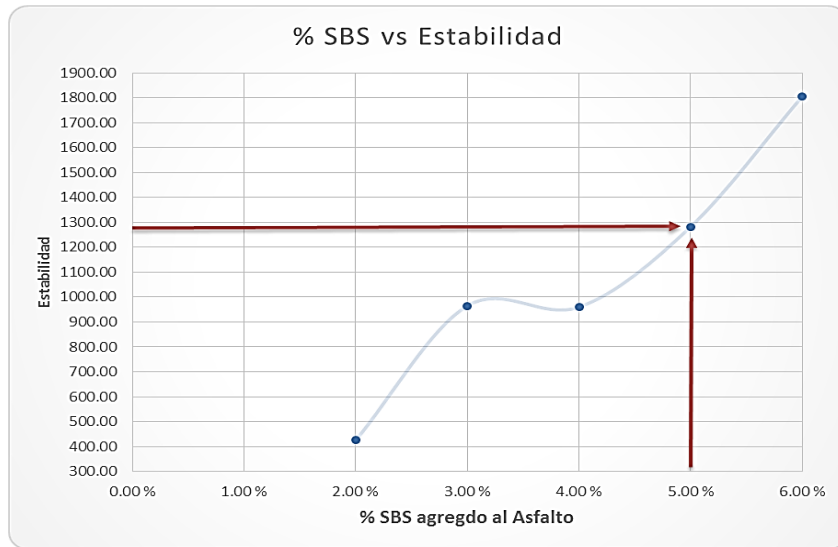
En esta tabla se logran visualizar las lecturas de flujo y su conversión en (mm); y la lectura de estabilidad para luego ser corregidas con su factor de corrección obtenida de la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) y que depende de la altura de espécimen (Briqueta); para luego convertirlo en kilogramos, dichas tablas se anexaran en dicho proyecto.

Estas tablas se repetirán para todos las combinaciones de porcentajes de polímero en el caso de Transito Liviano y Pesado.

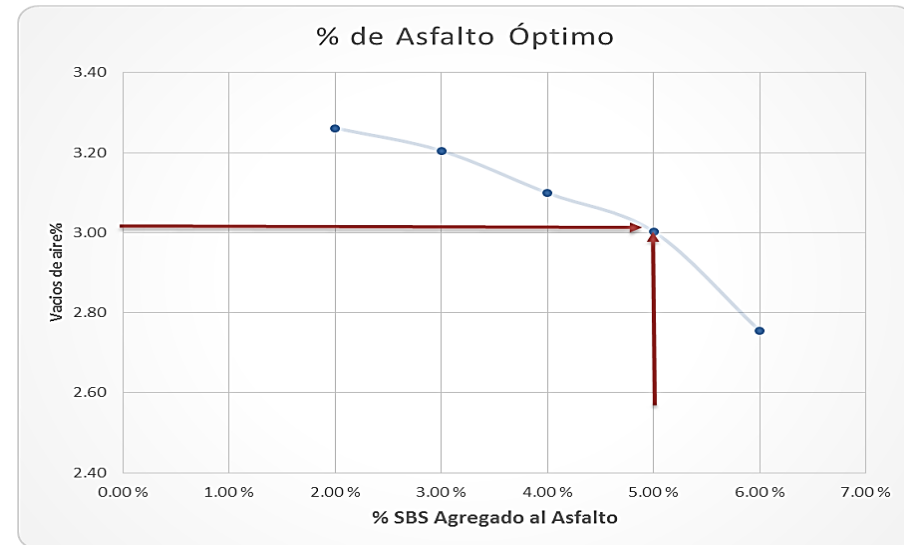


#### 4.1.6.8 Resumen de resultados diseño Marshall POLIMERO SBS-Tránsito Liviano:

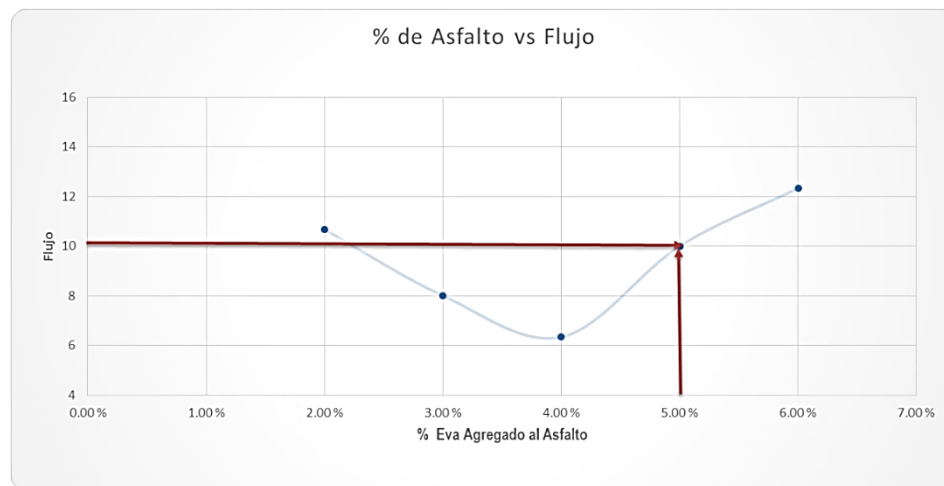
Resultados Ensayos Marshall														
Briqueta	% Eva	Peso Aire	Peso Saturado. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb gr/cm3	Gmm gr/cm3	V.a %	VAM %	VAF %	Estabilidad (Kg)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
1.1	2.00 %	1192.00	1192.39	656.00	525.40	2.27	2.32	3.26	9.18	64.45	459.31	0.949	436	11
1.2	2.00 %	1185.00	1189.02	648.00	521.13	2.27	2.32	3.26	8.97	63.64	438.53	0.947	415	11
1.3	2.00 %	1190.00	1191.16	649.00	512.74	2.32	2.32	3.26	7.09	54.00	431.88	0.985	425	10
						<b>2.29</b>	<b>2.32</b>	<b>3.26</b>	<b>8.41</b>	<b>60.70</b>	<b>443.24</b>	<b>0.96</b>	<b>426</b>	<b>11</b>
2.1	3.00 %	1077.00	1078.26	595.00	442.88	2.43	2.32	3.20	3.64	11.98	778.19	1.254	976	9
2.2	3.00 %	1145.00	1187.14	660.00	514.40	2.23	2.32	3.20	11.80	72.84	887.91	0.963	855	8
2.3	3.00 %	1160.00	1185.23	659.00	509.75	2.28	2.32	3.20	9.83	67.40	1069.64	0.995	1064	7
<b>Promedio</b>						<b>2.31</b>	<b>2.32</b>	<b>3.20</b>	<b>8.42</b>	<b>50.74</b>	<b>911.91</b>	<b>1.07</b>	<b>965</b>	<b>8</b>
3.1	4.00 %	1175.00	1176.14	640.00	521.30	2.25	2.32	3.10	11.61	73.30	881.05	0.956	842	7
3.2	4.00 %	1190.00	1181.17	645.00	517.74	2.30	2.32	3.10	9.86	68.58	980.49	0.968	949	6
3.3	4.00 %	1193.00	1194.26	650.00	515.09	2.32	2.32	3.10	9.17	66.21	1121.07	0.970	1087	6
<b>Promedio</b>						<b>2.29</b>	<b>2.32</b>	<b>3.10</b>	<b>10.22</b>	<b>69.37</b>	<b>994.20</b>	<b>0.96</b>	<b>960</b>	<b>6.33</b>
4.1	5.00 %	1199.00	1200.92	667.00	517.88	2.32	2.32	3.00	10.15	70.43	1114.21	0.963	1073	11
4.2	5.00 %	1185.00	1190.93	665.00	513.61	2.31	2.32	3.00	10.46	71.30	1357.66	0.965	1310	10
4.3	5.00 %	1191.00	1092.25	665.00	515.12	2.31	2.32	3.00	10.27	70.77	1505.10	0.973	1464	9
						<b>2.31</b>	<b>2.32</b>	<b>3.00</b>	<b>10.30</b>	<b>70.83</b>	<b>1325.66</b>	<b>0.97</b>	<b>1283</b>	<b>10.00</b>
5.1	6.00 %	1194.00	1195.00	662.00	525.88	2.27	2.32	2.75	12.82	78.51	1745.00	0.956	1668	13
5.2	6.00 %	1190.00	1191.07	661.00	510.96	2.33	2.32	2.75	10.57	73.94	1865.12	0.993	1852	12
5.3	6.00 %	1200.00	1200.89	667.00	521.74	2.30	2.32	2.75	11.68	76.42	1985.13	0.956	1898	12
<b>Promedio</b>						<b>2.30</b>	<b>2.32</b>	<b>2.75</b>	<b>11.69</b>	<b>76.29</b>	<b>1865.08</b>	<b>0.97</b>	<b>1806</b>	<b>12.33</b>



**Figura N° 58:** % de SBS vs Estabilidad Liviano.



**Figura N° 59:** % de SBS Óptimo Liviano.



**Figura N° 60:** % de SBS vs flujo Liviano.

#### 4.1.6.8.1 Interpretación.

Tabla de resumen y expresan el cálculo de las estabilidades y flujos y las figuras 58, 59, y 60 son los vs que da origen a determinar el porcentaje óptimo de asfalto según los requerimientos del Ensayo Marshall en este caso es para Transito Liviano con polímero SBS.



#### 4.1.7 Resultados Diseño Marshall (Polímero 4% SBS – Tránsito Pesado).

**TABLA N° 52**

Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero SBS.



### UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE ESTABILIDAD DE FLUJO - MARSHAL TRANSITO PESADO (2, 4 Y 6 Hrs) -POLIMERO SBS  
 AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

<b>Tesis :</b>	"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"		
<b>Asesor :</b>	ING. NEPTON DAVID RUIZ SAAVEDRA	<b>FECHA:</b>	27/04/2016
<b>Autores :</b>	INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRE VASQUEZ ALARCON DEYNIS HANZ		

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL											
BRIQUETAS	% DE Asfalto	% DE SBS	VOLUMEN(cm3)	LECTURA FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN mm	FATOR DE CORRECCIÓ N	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg	VERIFICACION
3.1	5.3 %	4.0 %	508.69	14	3.60	516	64.4	0.978	1772.54	1734	OK
3.2	5.3 %	4.0 %	501.90	8	2.00	610	62.8	1.019	2098.00	2138	OK
3.3	5.3 %	4.0 %	512.60	10	2.50	512	64.1	0.985	1762.26	1736	OK
PROMEDIO			507.73	10.67	2.70	546.00	63.74	0.99	1877.60	1869	OK

CONCLUSION:

Incrementó su estabilidad en un 53.20% el flujo esta dentro del rango de la norma

Fuente: Elaboración Propia.



#### **4.1.7.1 Interpretación:**

En esta tabla se logran visualizar las lecturas de flujo y su conversión en (mm); y la lectura de estabilidad para luego ser convertidas con su factor de conversión obtenida de la tabla de calibración de la maquina Marshall (año 2013) y que depende de la altura de espécimen (Briqueta); para luego convertirlo en kilogramos, dichas tablas se anexaran en dicho proyecto.

Estas tablas se repetirán para todos las combinaciones de porcentajes de polímero en el caso de Transito Liviano y Pesado.



#### 4.1.7.2 Resumen de resultados diseño Marshall POLIMERO SBS-Tránsito PESADO:

Resultados Ensayos Marshall														
Briqueta	% Eva	Peso Aire	Peso Saturado. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb gr/cm3	Gmm gr/cm3	V.a %	VAM %	VAF %	Estabilidad (Kg)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
1.1	2.00 %	1182.00	1183.68	680.00	505.75	2.34	2.31	1.44	6.44	77.63	1775.97	1.049	1863	7
1.2	2.00 %	1188.00	1189.92	687.00	507.55	2.34	2.31	1.44	6.30	77.13	1693.00	1.024	1734	7
1.3	2.00 %	1186.00	118732.00	685.00	512.33	2.31	2.31	1.44	7.33	80.34	1614.82	1.011	1633	6
						<b>2.33</b>	<b>2.31</b>	<b>1.44</b>	<b>6.69</b>	<b>78.37</b>	<b>1694.60</b>	<b>1.03</b>	<b>1743.07</b>	<b>7</b>
2.1	3.00 %	1199.00	1200.12	688.00	510.35	2.35	2.31	1.17	6.91	83.12	2201.14	0.995	2190	8
2.2	3.00 %	1191.00	1192.36	684.00	502.74	2.37	2.31	1.17	6.13	80.97	2098.28	1.019	2138	7
2.3	3.00 %	1180.00	1181.65	680.00	501.24	2.35	2.31	1.17	6.72	82.63	1978.27	1.027	2032	6
<b>Promedio</b>						<b>2.36</b>	<b>2.31</b>	<b>1.17</b>	<b>6.59</b>	<b>82.24</b>	<b>2092.56</b>	<b>1.01</b>	<b>2119.99</b>	<b>7</b>
3.1	4.00 %	1194.00	1195.24	669.00	508.69	2.35	2.31	1.05	7.95	86.74	1772.54	0.978	1734	14
3.2	4.00 %	1200.00	1201.30	688.00	501.90	2.39	2.31	1.05	6.24	83.09	2098.00	1.019	2138	8
3.3	4.00 %	1180.00	1181.25	669.00	512.60	2.30	2.31	1.05	9.73	89.15	1762.26	0.985	1736	10
<b>Promedio</b>						<b>2.35</b>	<b>2.31</b>	<b>1.05</b>	<b>7.97</b>	<b>86.33</b>	<b>1877.60</b>	<b>0.99</b>	<b>1869.08</b>	<b>10.67</b>
4.1	5.00 %	1194.00	1195.19	686.00	507.75	2.35	2.31	0.92	8.74	89.52	2269.72	1.005	2281	12
4.2	5.00 %	1192.00	1192.98	690.00	501.10	2.38	2.31	0.92	7.69	88.08	2441.16	0.995	2429	9
4.3	5.00 %	1186.00	1187.03	673.00	496.78	2.39	2.31	0.92	7.35	87.53	2372.59	1.027	2437	9
						<b>2.37</b>	<b>2.31</b>	<b>0.92</b>	<b>7.93</b>	<b>88.38</b>	<b>2361.16</b>	<b>1.01</b>	<b>2382.22</b>	<b>10.00</b>
5.1	6.00 %	1188.00	1189.32	677.00	507.35	2.34	2.31	0.67	10.09	93.34	2561.170	1.005	2574	4
5.2	6.00 %	1196.00	1197.23	690.00	502.74	2.38	2.31	0.67	8.65	92.24	2448.020	1.005	2460	9
5.3	6.00 %	1190.00	1191.23	689.00	514.40	2.31	2.31	0.67	11.17	93.99	2225.150	0.983	2187	15
<b>Promedio</b>						<b>2.34</b>	<b>2.31</b>	<b>0.67</b>	<b>9.97</b>	<b>93.19</b>	<b>2411.45</b>	<b>1.00</b>	<b>2407.19</b>	<b>9.33</b>

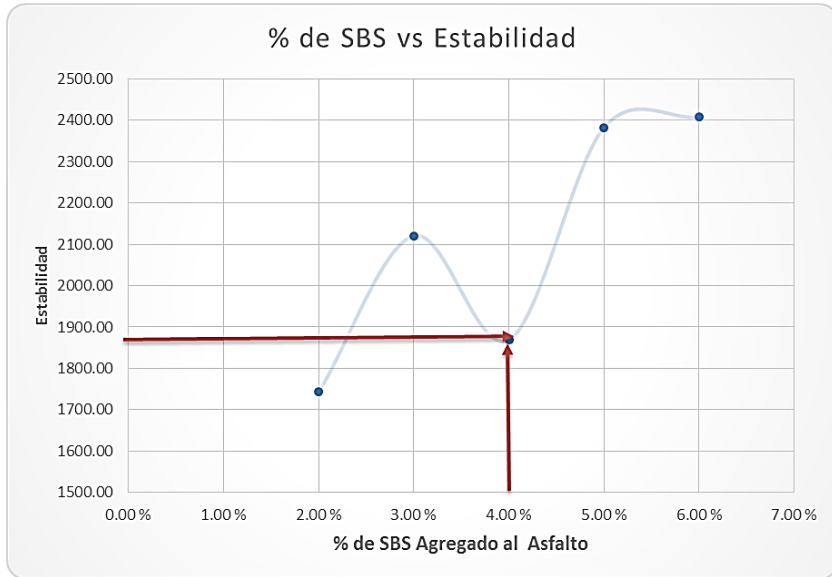


Figura N° 61: % de SBS vs Estabilidad Pesado.

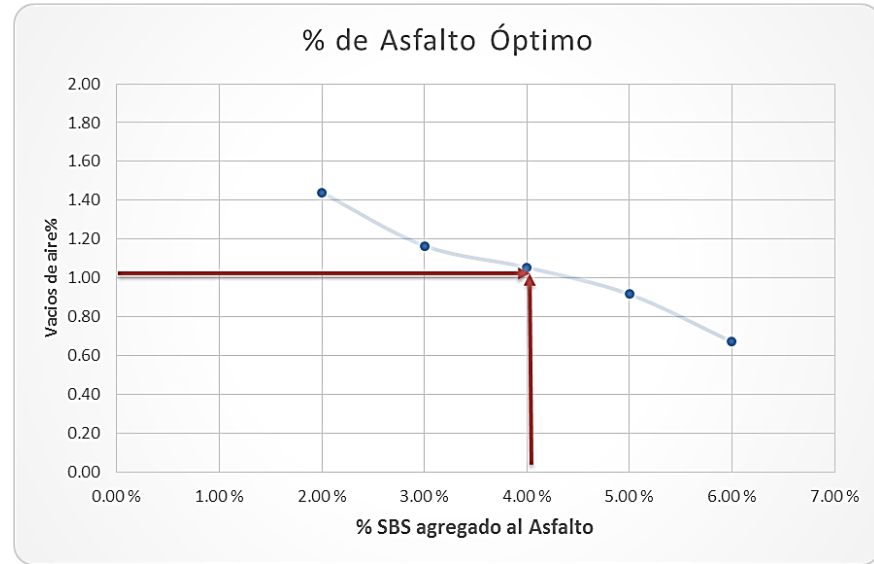


Figura N° 62: % de SBS Óptimo Pesado.

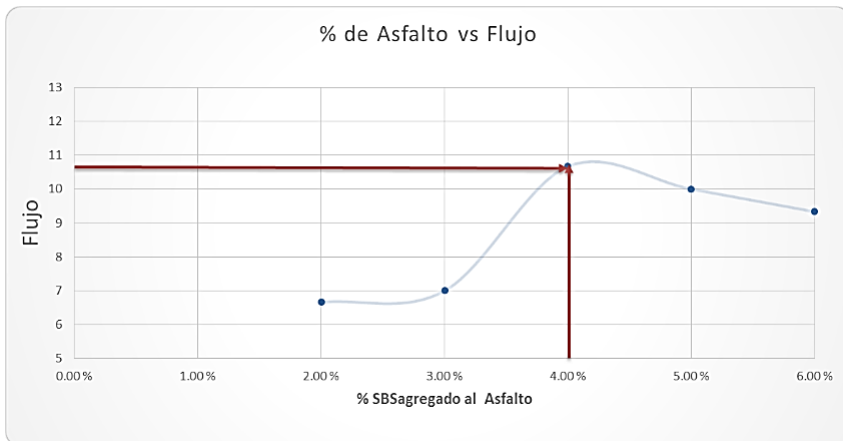


Figura N° 63: % de SBS vs flujo pesado.

#### 4.1.7.2.1 Interpretación.

Tabla de resumen y expresan el cálculo de las estabilidades y flujos y los figuras 61, 62, y 63 son los vs que da origen a determinar el porcentaje óptimo de asfalto según los requerimientos del Ensayo Marshall en este caso es para Transito Liviano con polímero SBS.





#### 4.1.7.3 Desgaste en la Máquina de los Ángeles POLIMERO SBS (Seco):

**TABLA N° 53**

*Desgaste de Lo Ángeles Briquetas con Polímero SBS para tránsito Pesado*

CONTENIDO DE ASFALTO: Pesado SBS					2.0 %	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
1.1	27	27	1182.00	948.00	19.80	20.56
1.2	27	27	1188.00	945.00	20.45	
1.3	27	26	1186.00	932.00	21.42	
CONTENIDO DE ASFALTO:					3.0 %	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
2.1	26	25	1199.00	992.00	17.26	19.06
2.2	26	25	1191.00	962.00	19.23	
2.3	26	26	1180.00	936.00	20.68	
CONTENIDO DE ASFALTO:					4.0 %	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
3.1	26.5	26	1194.00	1009.00	15.49	15.11
3.2	26	25.5	1200.00	1015.00	15.42	
3.3	26	25.5	1180.00	1010.00	14.41	
CONTENIDO DE ASFALTO:					5.0 %	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
4.1	25	24	1194.00	1023.00	14.32	14.67
4.2	25	24	1192.00	1016.00	14.77	
4.3	24	25	1186.00	1009.00	14.92	
CONTENIDO DE ASFALTO:					6.0 %	
PROBETA	TEMPERATURA (°C)		MASA ANTES (gr)	MASA DESPUES(gr)	PÉRDIDA (%)	PÉRDIDA PROMEDIO
	INICIO	FINAL				
5.1	25	25	1188.00	1032.00	13.13	13.12
5.2	26	25	1196.00	1039.00	13.13	
5.3	26.5	25.5	1190.00	1034.00	13.11	



## 4.2 Discusión de resultados.

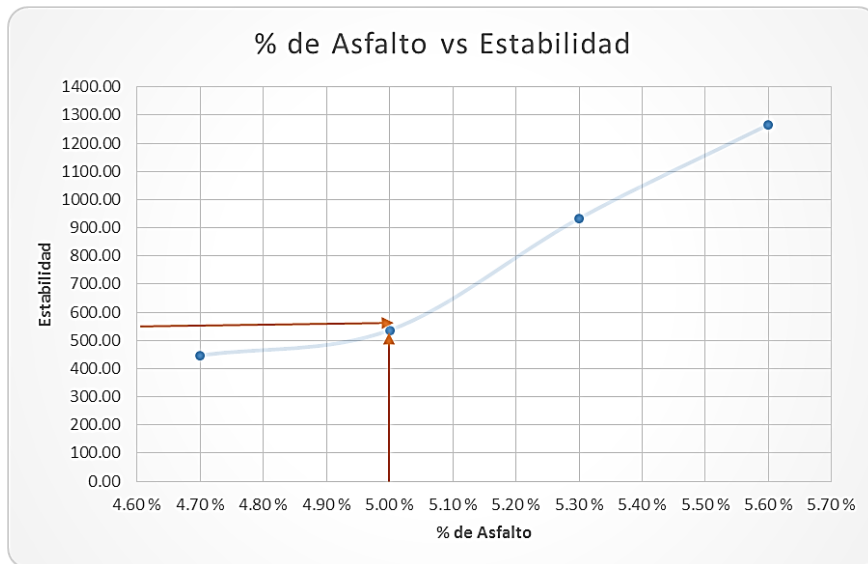
### 4.2.1 Resultados Diseño Marshall (Convencional – Transito liviano).

**TABLA N° 54**

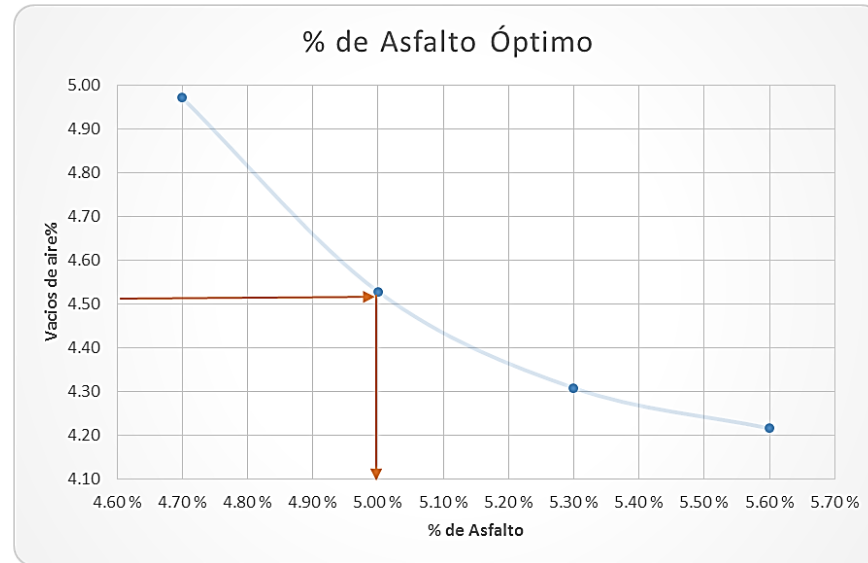
*Resultados de estabilidad y flujo.*

Resultados Ensayos Marshall														
Briqueta	% Asfalto	Peso Aire	Peso Saturado. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb gr/cm3	Gmm gr/cm3	V.a %	VAM %	VAF %	Estabilidad (Kg)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
1.1	4.70 %	1159.00	1159.73	671.00	503.18	2.30	2.31	4.97	10.33	51.88	455.88	1.003	457.25	14
1.2	4.70 %	1162.00	1162.87	664.00	508.66	2.28	2.31	4.97	11.07	55.08	438.73	0.980	429.96	14
1.3	4.70 %	1173.00	1173.90	681.00	486.02	2.41	2.31	4.97	6.04	17.74	431.68	1.056	455.85	13
						2.33	2.31	4.97	9.15	41.57	442.10	1.01	447.69	14
2.1	5.00 %	1203.00	1204.26	665.00	512.90	2.35	2.32	4.53	8.98	49.57	555.31	0.978	543.09	9
2.2	5.00 %	1206.00	1207.14	690.00	508.75	2.37	2.32	4.53	8.01	43.45	521.03	1.013	527.80	10
2.3	5.00 %	1164.00	1165.23	658.00	486.02	2.39	2.32	4.53	7.06	35.84	510.74	1.056	539.34	8
						2.37	2.32	4.53	8.01	42.95	529.03	1.02	536.75	9
3.1	5.30 %	1211.00	1212.32	655.00	508.30	2.38	2.29	4.31	7.84	45.03	966.77	0.943	912	8
3.2	5.30 %	1200.00	1201.17	690.00	505.55	2.37	2.29	4.31	8.18	47.30	956.91	1.013	969	8
3.3	5.30 %	1130.00	1131.26	665.00	493.88	2.29	2.29	4.31	11.49	62.50	867.34	1.059	919	9
						2.35	2.29	4.31	9.17	51.61	930.34	1.01	933.18	8.33
4.1	5.60 %	1189.00	1189.92	662.00	531.93	2.24	2.25	4.22	13.80	69.46	1241.08	0.943	1170	6
4.2	5.60 %	1185.00	1186.07	680.00	494.33	2.40	2.25	4.22	7.56	44.24	1343.94	1.049	1410	8
4.3	5.60 %	1142.00	1143.03	658.00	494.75	2.31	2.25	4.22	10.99	61.64	1138.21	1.071	1219	9
						2.31	2.25	4.22	10.78	58.45	1241.08	1.02	1266.38	7.67

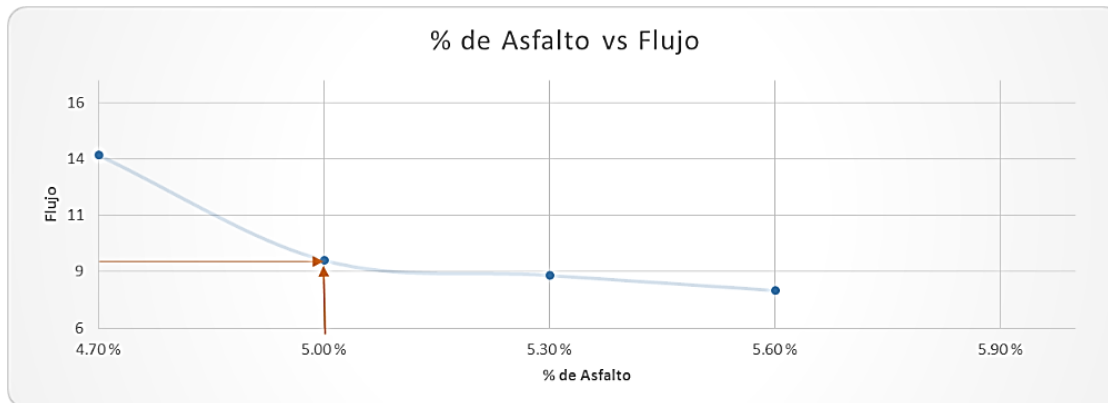
**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura N° 64:** % de Asfalto vs Estabilidad Liviano.



**Figura N° 65:** % de Asfalto Óptimo Liviano.



**Figura N° 66:** % de Asfalto vs flujo Liviano.



#### 4.2.1.1 Discusión:

Según lo investigado en el Marco teórico “**Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22**”, la Estabilidad (resistencia a la deformación) y el flujo (la deformación) son propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.

**“Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.**

**Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.**

**Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito”.**

Luego de lo detallado o conceptos claves la elección del porcentaje óptimo de asfalto consistió en tener punto medio tanto para valores de Estabilidad y como también para el flujo:

Se realizó el análisis y se eligió el % óptimo que cumpla los requerimientos de la Normativa Marshall (AASHTO T-245); se obtuvo en laboratorio en **el ítem de Estabilidad convencional** un valor de **536.75 kg** en promedio de las briquetas de 2,4 y 6 hrs de envejecimiento (60°C); para **454 kg** de Estabilidad con respecto al Tránsito Liviano Normativa Marshall (AASHTO T-245).

En tanto el flujo se trató de ubicar un punto medio entre **2mm – 5mm** requerimientos Normativa Marshall (AASHTO T-245) Tráfico Liviano; donde se eligió **2.27mm** para garantizar el buen funcionamiento de la mezcla asfáltica y también disponer de un ligante de mejores características adhesivas y de mayor durabilidad.



#### 4.2.2 Resultados Diseño Marshall (Convencional – Tránsito Pesado).

**TABLA N° 55**

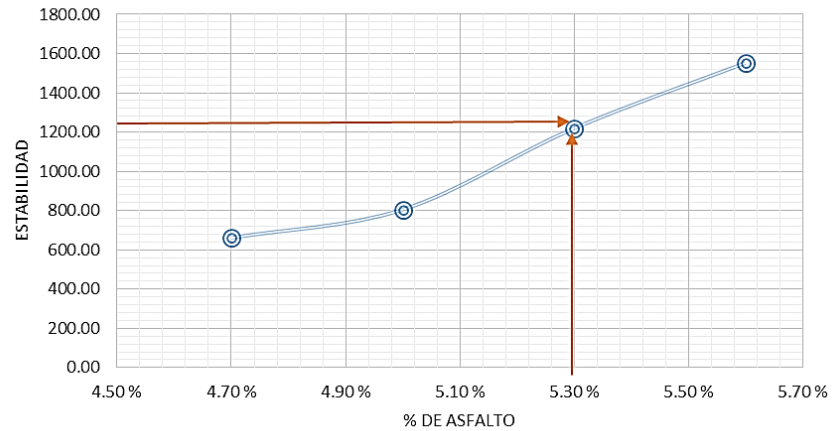
*Resultados de Estabilidad y flujo.*

Resultados Ensayos Marshall-PESADO														
Briqueta	% Asfalto	Peso Aire	Peso Saturado. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb gr/cm3	Gmm gr/cm3	V.a %	VAM %	VAF %	Estabilidad (Kg)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
5.1	4.70 %	1176.00	1176.93	670.00	486.38	2.42	2.33	4.18	5.87	28.86	658	1.049	690	16.00
5.2	4.70 %	1187.00	1187.87	657.00	493.63	2.40	2.33	4.18	6.39	34.59	638	1.024	653	17.00
5.3	4.70 %	1182.00	1183.04	677.00	513.84	2.30	2.33	4.18	10.45	60.01	634	1.011	641	18.00
<b>Promedio</b>						<b>2.37</b>	<b>2.33</b>	<b>4.18</b>	<b>7.57</b>	<b>41.15</b>	<b>643.32</b>	<b>1.028</b>	<b>661.50</b>	<b>17</b>
6.1	5.00 %	1154.00	1155.17	658.00	478.31	2.41	2.33	3.55	6.37	44.31	764	1.074	821	14.00
6.2	5.00 %	1189.00	1189.36	691.00	485.74	2.45	2.33	3.55	5.01	29.15	761	1.053	802	13.00
6.3	5.00 %	1155.00	1156.01	700.00	489.52	2.36	2.33	3.55	8.44	57.94	744	1.068	794	15.00
<b>Promedio</b>						<b>2.41</b>	<b>2.33</b>	<b>3.55</b>	<b>6.61</b>	<b>43.80</b>	<b>756.59</b>	<b>1.065</b>	<b>805.76</b>	<b>14</b>
7.1	5.30 %	1169.00	1169.87	668.00	482.62	2.42	2.31	3.46	6.30	45.03	1173	1.103	1293	12
7.2	5.30 %	1190.00	1190.92	670.00	501.54	2.37	2.31	3.46	8.21	57.85	1155	1.024	1183	10
7.3	5.30 %	1163.00	1164.12	700.00	486.95	2.39	2.31	3.46	7.61	54.50	1138	1.040	1184	9
<b>Promedio</b>						<b>2.39</b>	<b>2.31</b>	<b>3.46</b>	<b>7.37</b>	<b>52.46</b>	<b>1155.29</b>	<b>1.056</b>	<b>1219.96</b>	<b>10</b>
8.1	5.60 %	1223.00	1223.46	697.00	501.35	2.44	2.31	3.14	5.93	47.12	1502	1.021	1533	10
8.2	5.60 %	1201.00	1201.29	686.00	505.55	2.38	2.31	3.14	8.39	62.62	1515	1.011	1532	8
8.3	5.60 %	1200.00	1200.61	697.00	495.63	2.42	2.31	3.14	6.63	52.72	1488	1.071	1594	7
<b>Promedio</b>						<b>2.41</b>	<b>2.31</b>	<b>3.14</b>	<b>6.99</b>	<b>54.15</b>	<b>1501.67</b>	<b>1.03</b>	<b>1552.95</b>	<b>8.33</b>

Fuente: Elaboración Propia

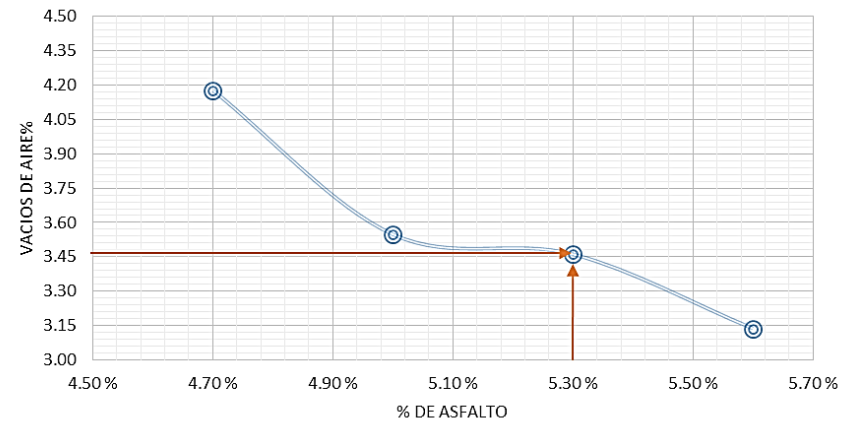


### % de Asfalto vs Estabilidad



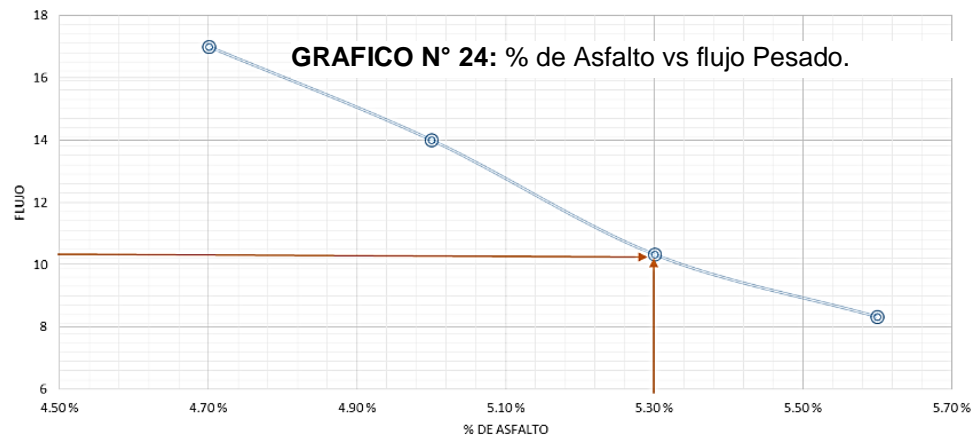
**Figura N° 67:** % de Asfalto vs Estabilidad Pesado.

### % de Asfalto Óptimo



**Figura N° 68:** % de Asfalto Optimo pesado.

### % de Asfalto vs Flujo



**Figura N° 69:** % de Asfalta vs flujo pesado.



#### 4.2.2.1 Discusión:

Según lo investigado en el Marco teórico "***Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22***"...la Estabilidad (resistencia a la deformación) y el flujo (la deformación) son propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.

***“Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.***

***Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.***

***Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito”.***

Luego de lo detallado o conceptos claves la elección del porcentaje óptimo de asfalto consistió en tener punto medio tanto para valores de Estabilidad y como también para el flujo:

Se realizó el análisis y se eligió el % óptimo que cumpla los requerimientos de la Normativa Marshall (AASHTO T-245); se obtuvo en laboratorio en ***el ítem de Estabilidad convencional*** un valor de **1,219.96 kg** en promedio de las briquetas de 2,4 y 6 hrs de envejecimiento (60°C); para **816 kg** de Estabilidad con respecto al Tránsito Pesado Normativa Marshall (AASHTO T-245).

En tanto el flujo se trató de ubicar un punto medio entre **2mm – 5mm** requerimientos Normativa Marshall (AASHTO T-245) Trafico Liviano; donde se eligió **2.60mm** para garantizar el buen funcionamiento de la mezcla asfáltica y también disponer de un ligante de mejores características adhesivas y de mayor durabilidad.



### 4.2.3 Resultados Diseño Marshall (Polímero EVA – Transito liviano).

**TABLA N° 56**

*Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero EVA.*



**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

### ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL 5 % OPTIMO DE ASFALTO (TRANSITO LIVIANO)

AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL									
BRIQUETAS	% DE EVA	VOLUMEN(cm3)	FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN (mm)	CORRECCIÓN	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg
1	2.0 %	500.26	12.00	3.03	325.33	63.93	0.99	1122.21	1110
2	3.0 %	490.50	9.67	2.47	313.33	63.39	1.00	1081.07	1087
3	4.0 %	488.12	9.67	2.43	391.33	63.62	1.00	1349.83	1345
4	5.0 %	482.07	9.83	2.47	350.00	61.66	1.06	1206.79	1277
5	6.0 %	498.56	12.33	3.13	401.67	64.62	0.97	1383.94	1346
					<b>356.33</b>	<b>63.442</b>	<b>1.004</b>	<b>1229</b>	<b>1233</b>

Fuente: Elaboración Propia





#### 4.2.3.1 Discusión:

Según lo investigado en el Marco teórico "***Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22***"...la Estabilidad (resistencia a la deformación) y el flujo (la deformación) son propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.

***"Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.***

***Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.***

***Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito".***

Luego de lo detallado o conceptos claves la elección del porcentaje óptimo de polímero consistió en tener punto medio tanto para valores de Estabilidad y como también para el flujo:

Se realizó un primer análisis comparando los requerimientos de la Normativa Marshall (AASHTO T-245) con los resultados obtenidos en laboratorio donde se observó que en ***el ítem de Estabilidad hay una mejora significativa con respecto al convencional de 1,345 kg*** en promedio de las briquetas de 2,4 y 6 hrs de envejecimiento (60°C); para ***536.75 kg*** en convencional y ***454 kg*** de Estabilidad con respecto al Transito Liviano Normativa Marshall (AASHTO T-245).


En tanto el flujo se trató de ubicar un punto medio entre ***2mm – 5mm*** requerimientos Normativa Marshall (AASHTO T-245) Trafico Liviano; donde se eligió ***2.43mm*** para garantizar el buen funcionamiento de la mezcla asfáltica y también disponer de un ligante de mejores características adhesivas y de mayor durabilidad.



#### 4.2.4 Resultados Diseño Marshall (Polímero EVA – Tránsito Pesado)

**TABLA N° 57**

*Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero EVA.*

		<b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b> FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES							
		<b>ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL 5.3 % OPTIMO DE ASFALTO (TRANSITO PESADO)</b>							
AASHTO T 245 (o ASTM D1559)									
<b>RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL</b>									
BRIQUETAS	% DE EVA	VOLUMEN(cm3)	FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN (mm)	CORRECCIÓN	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg
1	2.0 %	480.53	6.67	1.67	523.33	59.86	1.11	1801.12	1993
2	3.0 %	488.94	8.33	2.10	387.67	60.97	1.07	1335.94	1432
3	4.0 %	497.06	8.33	2.10	321.67	61.96	1.05	1166.79	1223
4	5.0 %	483.56	9.00	2.30	414.00	60.96	1.07	1414.77	1516
5	6.0 %	489.63	9.33	2.37	614.67	61.33	1.06	2114.10	2241
					<b>452.27</b>	<b>61.013</b>	<b>1.072</b>	<b>1567</b>	<b>1681</b>

Fuente: Elaboración Propia



#### 4.2.4.1 Discusión:

Según lo investigado en el Marco teórico "**Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22**"...la Estabilidad (resistencia a la deformación) y el flujo (la deformación) son propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.

***"Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.***

***Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.***

***Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito".***

Luego de lo detallado o conceptos claves la elección del porcentaje óptimo de polímero consistió en tener punto medio tanto para valores de Estabilidad y como también para el flujo:

Se realizó un primer análisis comparando los requerimientos de la Normativa Marshall (AASHTO T-245) con los resultados obtenidos en laboratorio donde se observó que en ***el ítem de Estabilidad hay una mejora significativa con respecto al convencional de 1,432kg*** en promedio de las briquetas de 2,4 y 6 hrs de envejecimiento (60°C); para ***1,219.96 kg*** en convencional y ***816 kg*** de Estabilidad con respecto al Transito Liviano Normativa Marshall (AASHTO T-245).


En tanto el flujo se trató de ubicar un punto medio entre ***2mm – 3.5mm*** requerimientos Normativa Marshall (AASHTO T-245) Trafico Liviano; donde se eligió ***2.10mm*** para garantizar el buen funcionamiento de la mezcla asfáltica y también disponer de un ligante de mejores características adhesivas y de mayor durabilidad.



#### 4.2.5 Resultados Diseño Marshall (Polímero SBS – Transito liviano).

**TABLA N° 58**

*Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero SBS.*

 UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES									
ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL 5 % OPTIMO DE ASFALTO (TRANSITO LIVIANO)									
AASHTO T 245 (o ASTM D1559)									
RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL									
BRIQUETAS	% DE SBS	VOLUMEN(cm3)	FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN (mm)	CORRECCIÓN	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg
1	2.0 %	519.76	11	2.70	127.33	65.208	0.960	443.24	426
2	3.0 %	489.01	8	2.03	264.00	61.375	1.071	911.91	965
3	4.0 %	489.01	6	1.60	288.00	64.917	0.965	994.20	960
4	5.0 %	518.05	10	2.53	384.67	64.817	0.967	1325.66	1283
5	6.0 %	519.53	12	3.10	384.67	64.758	0.968	1865.08	1806
					<b>289.73</b>	<b>64.215</b>	<b>0.986</b>	<b>1108</b>	<b>1088</b>

Fuente: Elaboración Propia.



#### 4.2.5.1 Discusión:

Según lo investigado en el Marco teórico "***Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22***". La Estabilidad (resistencia a la deformación) y el flujo (la deformación) son propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.

***"Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.***

***Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.***

***Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito".***

Luego de lo detallado o conceptos claves la elección del porcentaje óptimo de polímero consistió en tener punto medio tanto para valores de Estabilidad y como también para el flujo:

Se realizó un primer análisis comparando los requerimientos de la Normativa Marshall (AASHTO T-245) con los resultados obtenidos en laboratorio donde se observó que en ***el ítem de Estabilidad hay una mejora significativa con respecto al convencional de 1,283 kg*** en promedio de las briquetas de 2,4 y 6 hrs de envejecimiento (60°C); para ***536.75 kg*** en convencional y ***454 kg*** de Estabilidad con respecto al Transito Liviano Normativa Marshall (AASHTO T-245).

En tanto el flujo se trató de ubicar un punto medio entre ***2mm – 5mm*** requerimientos Normativa Marshall (AASHTO T-245) Trafico Liviano; donde se eligió ***2.53mm*** para garantizar el buen funcionamiento de la mezcla asfáltica y también disponer de un ligante de mejores características adhesivas y de mayor durabilidad.



**4.2.6 Resultados Diseño Marshall (Polímero SBS – Tránsito Pesado).**

**TABLA N° 59**

*Resultados de Estabilidad y flujo Asfalto Modificado Polímero SBS.*



**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

**ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL 5.3 % OPTIMO DE ASFALTO (TRANSITO PESADO)**

AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

**RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL**

BRIQUETAS	% DE SBS	VOLUMEN(cm3)	FLUJO	FLUJO(mm)	Lectura de Estabilidad	ALTURA ESPECIMEN (mm)	CORRECCIÓN	Estabilidad en Kg	Estabilidad Corregida en Kg
1	2.0 %	508.54	6.67	1.70	492.33	63.40	1.03	1694.60	1743
2	3.0 %	504.78	7.00	1.77	608.33	62.98	1.01	2092.56	2120
3	4.0 %	507.73	10.67	2.70	546.00	63.74	0.99	1877.60	1869
4	5.0 %	518.05	10.00	2.53	686.67	63.14	1.01	2361.16	2382
5	6.0 %	519.53	9.33	2.37	701.33	63.59	1.00	2411.45	2407
					<b>606.93</b>	<b>63.372</b>	<b>1.008</b>	<b>2087</b>	<b>2104</b>

**Fuente:** Elaboración Propia



#### 4.2.6.1 Discusión:

Según lo investigado en el Marco teórico "***Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22***"...la Estabilidad (resistencia a la deformación) y el flujo (la deformación) son propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.

***“Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.***

***Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.***

***Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito”.***

Luego de lo detallado o conceptos claves la elección del porcentaje óptimo de polímero consistió en tener punto medio tanto para valores de Estabilidad y como también para el flujo:

Se realizó un primer análisis comparando los requerimientos de la Normativa Marshall (AASHTO T-245) con los resultados obtenidos en laboratorio donde se observó que en ***el ítem de Estabilidad hay una mejora significativa con respecto al convencional de 1,869 kg*** en promedio de las briquetas de 2,4 y 6 hrs de envejecimiento (60°C); para ***1,219.96 kg*** en convencional y ***816 kg*** de Estabilidad con respecto al Transito Liviano Normativa Marshall (AASHTO T-245).

En tanto el flujo se trató de ubicar un punto medio entre ***2mm – 3.5mm*** requerimientos Normativa Marshall (AASHTO T-245) Trafico Liviano; donde se eligió ***2.70mm*** para garantizar el buen funcionamiento de la mezcla asfáltica y también disponer de un ligante de mejores características adhesivas y de mayor durabilidad.



# **CAPITULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**





### 5.1 Propuesta del Proyecto.

Partiendo del porcentaje de asfalto óptimo convencional se realizaron combinaciones para determinar el porcentaje óptimo de polímero SBS teniendo como resultados de un porcentaje para tránsito Liviano 5% y 4% para tránsito Pesado. La aplicación de polímero Eva 4% para Tránsito Liviano y 3% para Tránsito Pesado. Realizando un análisis de costos unitarios nos muestra un incremento de costo en comparación con un diseño de pavimento Convencional al emplear los polímeros mencionados. Sin embargo se presenta mejoras en las características del comportamiento mecánico del pavimento modificado como el incremento de estabilidad manteniéndose un flujo estable dentro de los rangos de la norma.

**TABLA N° 60**

Costo del Proyecto de Investigación.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS EVA Y SBS						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Costo del Proyecto de investigación -TESISTAS						
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Parcial	Total	
Pasajes	S/.	2.00	80.00	160.00		
Impresiones	Unid.	1.00	95.00	95.00		
Copias	Unid.	1.00	42.00	42.00		
Agregado Grueso	m3	1.00	17.80	17.80		
Agregado fino	m3	1.00	13.20	13.20		
Emulsiones Asfálticas	Lts	1.00	12.50	12.50		
Asfalto	gl	2.00	12.00	24.00		
Polímeros Eva	g	1000	1.00	2000.00		
Polímeros SBS	g	1000	0.50	500.00		
						S/. 1,864.50
Ensayos Realizados- SERVICIOS						
Descripción	Cantidad	P.U	Parcial	Total		
Análisis Granulométrico por tamizado (global)	2.00	42.00	84.00			
Límite Líquido	2.00	20.00	40.00			
Límite Plástico	1.00	20.00	20.00			
Peso específico y absorción del agregado grueso	1.00	30.00	30.00			
Peso específico y absorción del agregado fino	1.00	30.00	30.00			
Equivalente de arena	1.00	60.00	60.00			
Desgaste por abrasión (Máquina de los ángeles)	1.00	120.00	120.00			
Índice penetración de cementos asfálticos	1.00	90.00	90.00			
Estabilidad Marshall (elaboración de briqueta, estabilidad y flujo)	1.00	350.00	350.00			
Densidad de briqueta asfáltica	1.00	100.00	100.00			
Elaboración de Briquetas	130.00	90.00	11700.00			
					S/. 12,624.00	



**Presupuesto total**

**S/. 14,489.50**

Este análisis corresponde a los insumos, materiales y ensayos que se realizaron en la elaboración de las briquetas con polímeros modificados y convencionalmente.

### 5.1.1 Presupuesto en un Pavimento en Lambayeque

#### 5.1.1.1 Pavimento Convencional.

**TABLA N° 61**

*Análisis de Costo del Pavimento Convencional por m<sup>2</sup>.*

#### ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m2

#### ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Rendimiento: 9,842.52 m2/día

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>0.13</b>
CAPATAZ	HH	1	0.0008128	22.11	0.02
OFICIAL	HH	2	0.0016256	16.51	0.03
OPERARIO	HH	2	0.0016256	20.10	0.03
PEON	HH	4	0.0032512	14.85	0.05
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.01</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%		5.00	0.1258	0.0063
<b>MATERIALES</b>					<b>10.57</b>
ARENA GRUESA	m3		0.119	42.32	5.05
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gl		0.12	9.80	1.16
FILLER (CAL)	kg		1.12	1.10	1.23
PETROLEO DIESEL	gl		0.08	11.30	0.86
PIEDRA CHANCADA 3/4" - 1/2"	m3		0.04	51.30	2.27
<b>EQUIPOS</b>					<b>1.16</b>
CARGADOR FRONTAL 125-155 HP 3YDS.3	HM	1	0.0008128	110.00	0.09
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	KWH	2	0.0016256	250.00	0.41
PLANTA ASFALTICA EN CALIENTE 60 - 115 tn/h	HM	1	0.0008128	800.00	0.65
SECADOR DE ARIDOS	HM	1	0.0008128	13.34	0.01
<b>COSTO DIRECTO /m2</b>					<b>11.86</b>



**ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m2**

**CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE (COLOCACION EN OBRA)**

Rendimiento: 9,842.52 m2/día

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>0.11</b>
CAPATAZ	HH	1	0.0008128	22.11	0.02
OPERARIO	HH	1	0.0008128	20.10	0.02
PEON	HH	6	0.0048768	14.85	0.07
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.01</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	0.1032	0.01
<b>EQUIPOS</b>					<b>0.80</b>
CAMION VOLQUETE 15 M3	HM	5	0.0040640	120.00	0.49
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 135HP 9-26 ton	HM	1	0.0008128	120.00	0.10
RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 130HP 9-11ton	HM	1	0.0008128	120.00	0.10
PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS 105 HP 10-16'	HM	1	0.0008128	150.00	0.12
<b>SUB PARTIDA</b>					<b>15.41</b>
ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	m3		1.3	11.86	15.41
<b>COSTO DIRECTO /m3</b>					<b>16.33</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**SON:** Dieciséis con 33/100 Soles por m<sup>2</sup> de Pavimento.

**TABLA N° 62**

Análisis de Costo del Pavimento Convencional por m<sup>3</sup>.

**ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m3**

**ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE**

Rendimiento: 500.00 m3/día

e = 2"

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>2.48</b>
CAPATAZ	HH	1	0.0160000	22.11	0.35
OFICIAL	HH	2	0.0320000	16.51	0.53
OPERARIO	HH	2	0.0320000	20.10	0.64
PEON	HH	4	0.0640000	14.85	0.95
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.12</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%		5.00	2.4757	0.12



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

<b>MATERIALES</b>					<b>207.98</b>
ARENA GRUESA	m3		2.349	42.30	99.36
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	gl		2.33	9.80	22.83
FILLER (CAL)	kg		22.00	1.1	24.20
PETROLEO DIESEL	gl		1.50	11.30	16.95
PIEDRA CHANCADA 3/4" - 1/2"	m3		0.87	51.30	44.63
<b>EQUIPOS</b>					<b>22.77</b>
CARGADOR FRONTAL 125-155 HP 3YDS.3	HM	1	0.0160000	110.00	1.76
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	KWH	2	0.0320000	250.00	8.00
PLANTA ASFALTICA EN CALIENTE 60 - 115 tn/h	HM	1	0.0160000	800.00	12.80
SECADOR DE ARIDOS	HM	1	0.0160000	13.34	0.21
<b>COSTO DIRECTO /m3</b>					<b>233.35</b>

**ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m3**

**CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE (COLOCACION EN OBRA)**

Rendimiento: 500.00 m3/día

e = 2"

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>2.10</b>
CAPATAZ	HH	1	0.0160000	22.11	0.35
OPERARIO	HH	1	0.0160000	20.10	0.32
PEON	HH	6	0.0960000	14.85	1.43
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.11</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	2.1010	0.11
<b>EQUIPOS</b>					<b>15.84</b>
CAMION VOLQUETE 15M3	HM	5	0.0800000	120.00	9.60
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 135HP 9-26 ton	HM	1	0.0160000	120.00	1.92
RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 130HP 9-11ton	HM	1	0.0160000	120.00	1.92
PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS 105 HP 10-16'	HM	1	0.0160000	150.00	2.40
<b>SUB PARTIDA</b>					<b>303.36</b>
ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	m3		1.3	233.35	303.36
<b>COSTO DIRECTO /m3</b>					<b>321.40</b>

**SON:** *trescientos veinte y uno con 40/100 Soles por m<sup>3</sup> de Pavimento.*



### 5.1.1.2 Pavimento Modificado Con Polímero SBS.

**TABLA N° 63**

*Análisis de Costo del Pavimento Con Polímero SBS por m<sup>2</sup>.*

#### ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m2

#### ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO SBS EN CALIENTE

Rendimiento: 1,574.80 m<sup>2</sup>/día

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>0.79</b>
CAPATAZ	HH	1	0.0050800	22.11	0.11
OFICIAL	HH	2	0.0101600	16.51	0.17
OPERARIO	HH	2	0.0101600	20.10	0.20
PEON	HH	4	0.0203200	14.85	0.30
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.04</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%		5.00	0.7860	0.0393
<b>MATERIALES</b>					<b>14.71</b>
ARENA GRUESA	m3		0.119	42.32	5.05
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	gl		0.12	9.80	1.16
FILLER (CAL)	kg		1.12	1.10	1.23
PETROLEO DIESEL	gl		0.08	11.30	0.86
POLIMERO SBS	Kg		0.26	16.00	4.15
PIEDRA CHANCADA 3/4" - 1/2"	m3		0.04	51.30	2.26
<b>EQUIPOS</b>					<b>15.31</b>
CARGADOR FRONTAL 125-155 HP 3YDS.3	HM	1	0.0050800	110.00	0.56
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	KWH	3	0.0152400	250.00	3.81
PLANTA ASFALTICA EN CALIENTE 60 - 115 tn/h	HM	1	0.0050800	800.00	4.06
SECADOR DE ARIDOS	HM	1	0.0050800	13.34	0.07
AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO	HM	2	0.0101600	20.00	0.20
INVENTERS BOMBA ASFALTO	HM	2	0.0101600	350.00	3.56
MOLINO COLOIDAL CHP-240	HM	1	0.0050800	600.00	3.05
<b>COSTO DIRECTO /m2</b>					<b>30.84</b>



### ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m2

#### CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO SBS EN CALIENTE (COLOCACION EN OBRA)

Rendimiento: 1,574.80 m2/día

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>0.67</b>
CAPATAZ	HH	1	0.0050800	22.11	0.11
OPERARIO	HH	1	0.0050800	20.10	0.10
PEON	HH	6	0.0304801	14.85	0.45
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.03</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	0.6671	0.03
<b>EQUIPOS</b>					<b>5.03</b>
CAMION VOLQUETE 15M3	HM	5	0.0254001	120.00	3.05
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 135HP 9-26 ton	HM	1	0.0050800	120.00	0.61
RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 130HP 9-11ton	HM	1	0.0050800	120.00	0.61
PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS 105 HP 10-16'	HM	1	0.0050800	150.00	0.76
<b>SUB PARTIDA</b>					<b>40.10</b>
ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO SBS EN CALIENTE	m3		1.3	30.84	40.10
<b>COSTO DIRECTO /m2</b>					<b>45.83</b>

Fuente: Elaboración propia

SON: Cuarenta y cinco con 83/100 Soles por m<sup>2</sup> de Pavimento.

#### TABLA N° 64

Análisis de Costo del Pavimento Con Polímero SBS por m<sup>3</sup>.

### ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m3

#### ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO SBS EN CALIENTE

Rendimiento: 80.00 m3/día

e = 2"

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>15.47</b>
CAPATAZ	HH	1	0.1000002	22.11	2.21
OFICIAL	HH	2	0.2000004	16.51	3.30
OPERARIO	HH	2	0.2000004	20.10	4.02
PEON	HH	4	0.4000008	14.85	5.94



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.77</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%		5.00	15.4730	0.77
<b>MATERIALES</b>					<b>289.57</b>
ARENA GRUESA	m3		2.349	42.32	99.41
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	gl		2.33	9.80	22.83
FILLER (CAL)	kg		22.00	1.1	24.20
PETROLEO DIESEL	gl		1.50	11.30	16.95
POLIMERO SBS	Kg		5.10	16.00	81.60
PIEDRA CHANCADA 3/4" - 1/2"	m3		0.869	51.30	44.58
<b>EQUIPOS</b>					<b>301.33</b>
CARGADOR FRONTAL 125-155 HP 3YDS.3	HM	1	0.1000002	110.00	11.00
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	KWH	3	0.3000006	250.00	75.00
PLANTA ASFALTICA EN CALIENTE 60 - 115 tn/h	HM	1	0.1000002	800.00	80.00
SECADOR DE ARIDOS	HM	1	0.1000002	13.34	1.33
AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO	HM	2	0.2000004	20.00	4.00
INVENTERS BOMBA ASFALTO	HM	2	0.2000004	350.00	70.00
MOLINO COLOIDAL CHP-240	HM	1	0.1000002	600.00	60.00
<b>COSTO DIRECTO /m3</b>					<b>607.15</b>

**ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m3**

**CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO SBS EN CALIENTE (COLOCACION EN OBRA)**

**Rendimiento:** 80.00 m3/día

**e = 2"**

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>13.13</b>
CAPATAZ	HH	1	0.1000002	22.11	2.21
OPERARIO	HH	1	0.1000002	20.10	2.01
PEON	HH	6	0.6000012	14.85	8.91
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.66</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	13.1310	0.66
<b>EQUIPOS</b>					<b>99.00</b>
CAMION VOLQUETE 15M3	HM	5	0.5000010	120.00	60.00
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 135HP 9-26 ton	HM	1	0.1000002	120.00	12.00
RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 130HP 9-11ton	HM	1	0.1000002	120.00	12.00
PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS 105 HP 10-16'	HM	1	0.1000002	150.00	15.00
<b>SUB PARTIDA</b>					<b>789.30</b>
ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO SBS EN CALIENTE	m3		1.3	607.15	789.30
<b>COSTO DIRECTO /m3</b>					<b>902.09</b>



Fuente: Elaboración propia

SON: novecientos dos con 09/100 Soles por m<sup>3</sup> de Pavimento.

### 5.1.1.3 Pavimento Modificado con Polímero EVA.

**TABLA N° 65**

Análisis de Costo del Pavimento Con Polímero EVA por m<sup>2</sup>

#### ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m2

#### ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO EVA EN CALIENTE

Rendimiento: 1,574.80 m2/día

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>0.79</b>
CAPATAZ	HH	1	0.0050800	22.11	0.11
OFICIAL	HH	2	0.0101600	16.51	0.17
OPERARIO	HH	2	0.0101600	20.10	0.20
PEON	HH	4	0.0203200	14.85	0.30
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.04</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%		5.00	0.7860	0.0393
<b>MATERIALES</b>					<b>14.89</b>
ARENA GRUESA	m3		0.119	42.32	5.05
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	gl		0.12	9.80	1.16
FILLER (CAL)	kg		1.12	1.10	1.23
PETROLEO DIESEL	gl		0.08	11.30	0.86
POLIMERO EVA	Kg		0.20	22.00	4.33
PIEDRA CHANCADA 3/4" - 1/2"	m3		0.04	51.30	2.26
<b>EQUIPOS</b>					<b>15.31</b>
CARGADOR FRONTAL 125-155 HP 3YDS.3	HM	1	0.0050800	110.00	0.56
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	KWH	3	0.0152400	250.00	3.81
PLANTA ASFALTICA EN CALIENTE 60 - 115 tn/h	HM	1	0.0050800	800.00	4.06
SECADOR DE ARIDOS	HM	1	0.0050800	13.34	0.07
AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO	HM	2	0.0101600	20.00	0.20
INVENTERS BOMBA ASFALTO	HM	2	0.0101600	350.00	3.56
MOLINO COLOIDAL CHP-240	HM	1	0.0050800	600.00	3.05
<b>COSTO DIRECTO /m2</b>					<b>31.02</b>





**ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m2**

**CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO EVA EN CALIENTE (COLOCACION EN OBRA)**

Rendimiento: 1,574.80 m2/día

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>0.67</b>
CAPATAZ	HH	1	0.0050800	22.11	0.11
OPERARIO	HH	1	0.0050800	20.10	0.10
PEON	HH	6	0.0304801	14.85	0.45
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.03</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	0.6671	0.03
<b>EQUIPOS</b>					<b>5.03</b>
CAMION VOLQUETE 15M3	HM	5	0.0254001	120	3.05
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 135HP 9-26 ton	HM	1	0.0050800	120.00	0.61
RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 130HP 9-11ton	HM	1	0.0050800	120.00	0.61
PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS 105 HP 10-16'	HM	1	0.0050800	150.00	0.76
<b>SUB PARTIDA</b>					<b>40.33</b>
ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO EVA EN CALIENTE	m3		1.3	31.02	40.33
<b>COSTO DIRECTO /m2</b>					<b>46.06</b>

Fuente: Elaboración propia

SON: Cuarenta y seis con 06/100 Soles por m<sup>2</sup> de Pavimento.

**TABLA N° 66**

Análisis de Costo del Pavimento Con Polímero EVA por m<sup>3</sup>

**ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m3**

**ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO EVA EN CALIENTE**

Rendimiento: 80.00 m3/día

e = 2"

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>15.47</b>
CAPATAZ	HH	1	0.1000002	22.11	2.21
OFICIAL	HH	2	0.2000004	16.51	3.30
OPERARIO	HH	2	0.2000004	20.10	4.02
PEON	HH	4	0.4000008	14.85	5.94
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.77</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%		5.00	15.4730	0.77



**"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"**

Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

<b>MATERIALES</b>					<b>381.44</b>
ARENA GRUESA	m3		2.349	42.32	99.41
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	gl		2.26	9.80	22.15
FILLER (CAL)	kg		22.00	1.1	24.20
PETROLEO DIESEL	gl		1.50	11.30	16.95
POLIMERO EVA	Kg		3.87	45.00	174.15
PIEDRA CHANCADA 3/4" - 1/2"	m3		0.869	51.30	44.58
<b>EQUIPOS</b>					<b>301.33</b>
CARGADOR FRONTAL 125-155 HP 3YDS.3	HM	1	0.1000002	110.00	11.00
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	KWH	3	0.3000006	250.00	75.00
PLANTA ASFALTICA EN CALIENTE 60 - 115 tn/h	HM	1	0.1000002	800.00	80.00
SECADOR DE ARIDOS	HM	1	0.1000002	13.34	1.33
AGITADOR PARA TANQUE DE ASFALTO	HM	2	0.2000004	20.00	4.00
INVENTERS BOMBA ASFALTO	HM	2	0.2000004	350.00	70.00
MOLINO COLOIDAL CHP-240	HM	1	0.1000002	600.00	60.00
<b>COSTO DIRECTO /m3</b>					<b>699.02</b>

**ANALISIS DE COSTO UNITARIO - m3**

**CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POLIMERO EVA EN CALIENTE (COLOCACION EN OBRA)**

**Rendimiento:** 80.00 m3/día

**e =** 2"

DENOMINACION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUB-TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>13.13</b>
CAPATAZ	HH	1	0.1000002	22.11	2.21
OPERARIO	HH	1	0.1000002	20.10	2.01
PEON	HH	6	0.6000012	14.85	8.91
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.66</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	13.1310	0.66
<b>EQUIPOS</b>					<b>99.00</b>
CAMION VOLQUETE 15M3	HM	5	0.5000010	120	60.00
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 135HP 9-26 ton	HM	1	0.1000002	120.00	12.00
RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 130HP 9-11ton	HM	1	0.1000002	120.00	12.00
PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS 105 HP 10-16'	HM	1	0.1000002	150.00	15.00
<b>SUB PARTIDA</b>					<b>908.72</b>
ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA POLIMERO EVA EN CALIENTE	m3		1.3	699.02	908.72
<b>COSTO DIRECTO /m3</b>					<b>1021.51</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**SON:** Mil veinte y uno con 51/100 Soles por m<sup>3</sup> de Pavimento.



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y  
SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Autores: Carlos André Infante Ataurima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

---

## **CAPITULO VI:**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 6.1 Conclusiones:

Con los ensayos realizados los cuales son descritos en capítulos anteriores, permitieron experimentar diseños de pavimentos modificados, aplicando cantidades en porcentajes a la mezcla asfáltica y serán descritas en las siguientes tablas según el tipo de Tránsito (Liviano y Pesado). Los porcentajes que serán mencionados son los óptimos para la aplicación del pavimento. Ambos polímeros comparados con el diseño de pavimento convencional aportan un incremento de estabilidad en el pavimento, manteniendo los rangos permisibles del flujo según la norma.

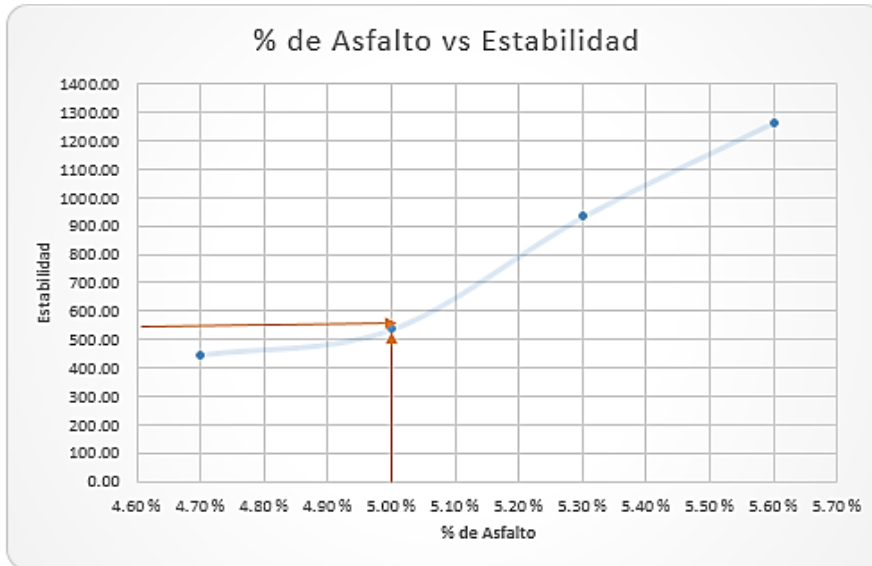
- **Para Tránsito Liviano**

**TABLA N° 67**

*Porcentajes óptimos de diseño para tránsito Liviano.*

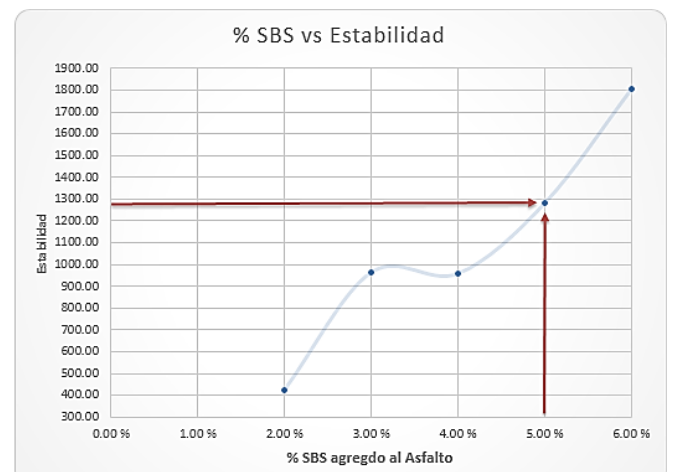
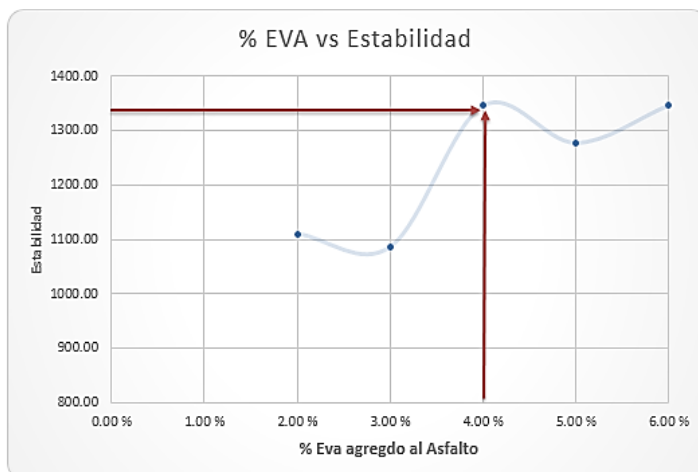
Tipo de Polímero	Porcentaje de Polímero	Conclusiones
EVA	4%- Es el Porcentaje óptimo	1.-Incremento de Estabilidad en 150.54% (1345 kg) con respecto al diseño de Pavimento Convencional y fluencia dentro del rango de la norma en 2.43 mm. 2.- Costo del polímero EVA es mayor al SBS. 3.-Mejoras en resistencia, agrietamiento y durabilidad del Asfalto.
SBS	5% - Es el Porcentaje óptimo	1.- Incremento de Estabilidad 138.83%( 1283 kg) con respecto al diseño de Pavimento Convencional y fluencia dentro del rango de la norma en 2.53 mm. 2.- Costo más económico que el Polímero EVA.

**Fuente:** Elaboración Propia



Diseño convencional

A un diseño convencional de tránsito liviano se empleará 5% de asfalto para tránsito liviano. Partiendo de este resultado se agregará 4% de Polímero EVA al pavimento convencional, sin embargo a un diseño con polímero SBS se agregará 5% de dicho polímero. Las gráficas muestran la diferencia en su incremento de estabilidad comparadas con el diseño convencional siendo los porcentajes óptimas según la aplicación de cada pavimento.



- Al realizar los diversos ensayos agregar estos porcentajes de Polímeros, al diseño convencional óptimo de Tránsito Liviano (5.0%). Que mejoran las propiedades mecánicas del pavimento como se muestran en la tabla N°64.



- La descripción de los gráficos indica la variación y el incremento de estabilidad, al agregar los % descritos a un diseño convencional. En ambos casos superan los mil. Este incremento se realizó en el ensayo Marshall y como resultados muestran los valores presentes en las gráficas y tablas descritas (tabla N°67).

### B.- Para Tránsito Pesado

**TABLA N° 68**

*Porcentajes óptimos de diseño para tránsito Pesado*

Tipo de Polímero	Porcentaje de Polímero	Conclusiones
EVA	3%- Es el Porcentaje óptimo	1.-Incremento de Estabilidad en 17.54% (1432 kg) con respecto al diseño óptimo de Pavimento Convencional y fluencia dentro del rango de la Norma en 2.10 mm. 2.- Costo del polímero EVA mayor al SBS. 3.- Mejoras significativas en resistencia, agrietamiento y durabilidad del Asfalto.
SBS	4% - Es el Porcentaje óptimo	1.- Incremento de Estabilidad 53.20%( 1869 kg) con respecto al diseño óptimo de Pavimento Convencional y fluencia en 2.70 mm. 2.- Costo más económico que el Polímero EVA. 3.- Mejoras en resistencia, agrietamiento y durabilidad del Asfalto.

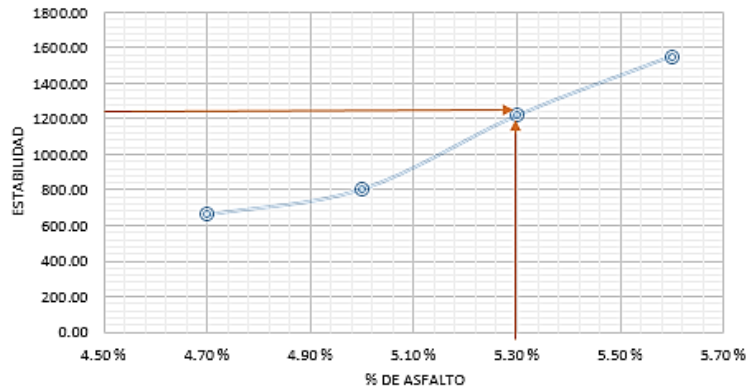
**Fuente:** Elaboración Propia



"ESTUDIO COMPARATIVO DEL METODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLIMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS"

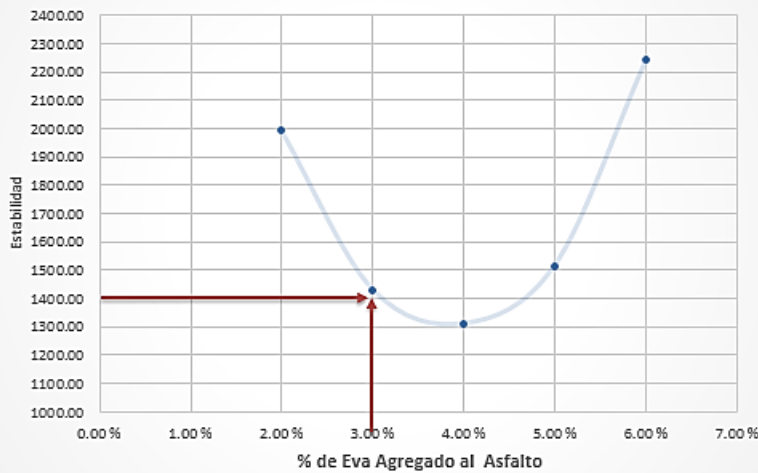
Autores: Carlos André Infante Aaturima, Deynis Hanz Vásquez Alarcón.

% de Asfalto vs Estabilidad



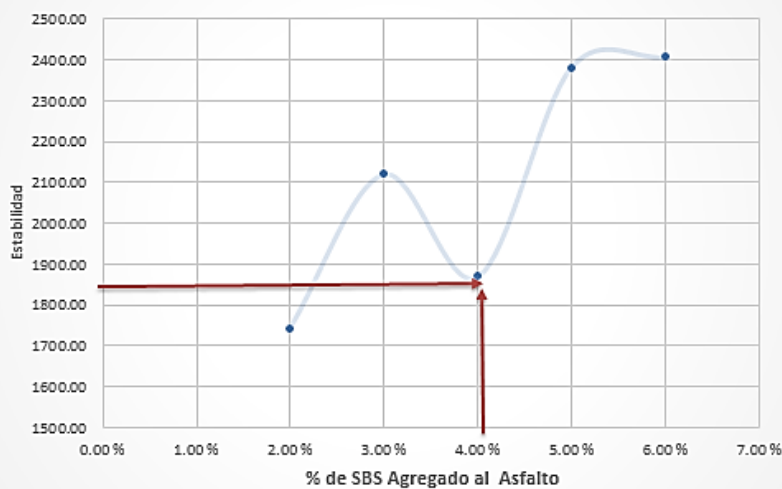
Diseño convencional

% de Eva vs Estabilidad



Diseño Con EVA

% de SBS vs Estabilidad



Diseño Con SBS



- La descripción de los gráficos indica la variación y el incremento de estabilidad, al agregar los % descritos a un diseño convencional para tránsito Pesado.
- Se concluye que para este tipo de tránsito, utilizar el polímero SBS el porcentaje que se agregará será 4%, incrementando más la estabilidad del pavimento.
- Al utilizar polímero EVA, en una misma cantidad de % que el Polímero SBS no se obtienen los mismos resultados en Estabilidad como en Fluencia, siempre varía.
- Existe una diferencia económica en estos polímeros, el polímero Eva es más costoso y menos comercial. Siendo utilizados en proyectos exclusivos, contratos grandes, convenios, etc. En un m<sup>3</sup> de pavimento existe una diferencia de S/.68.00 soles, el costo de pavimento con polímero SBS es más económico.

## 6.2 Recomendaciones:

### 1. Para Transito Liviano

- Se recomienda para el diseño de un pavimento de tránsito liviano usar los porcentajes que se muestran en la Tabla N°67. La variación de las propiedades mecánicas han sido obtenidas en los ensayos realizados en laboratorio. Emplear 4% de Polímero EVA.
- Para tránsito Liviano se recomienda el uso del polímero EVA, porque aporta mejores características a las propiedades mecánicas del pavimento, como el incremento de Estabilidad, reducción de agrietamiento. Incremento de Estabilidad en 150.54% (1345 kg) con respecto al Pavimento Convencional y fluencia dentro del rango en 2.43 mm.
- Los análisis realizados en laboratorio fueron mejores con respecto al polímero SBS que se obtuvo un incremento de Estabilidad 138.83%( 1283 kg) con respecto al diseño de Pavimento





Convencional y fluencia en 2.53 mm, además de agregar un porcentaje menor que el Polímero SBS al pavimento convencional, también aumenta la calidad del pavimento, disminuyendo el costo en operación y mantenimiento incrementando su vida útil del pavimento.

- Emplear el polímero EVA una temperatura de 160°C, siendo la temperatura óptima de mezcla. Mientras que el Polímero SBS a una temperatura de 150°C.

## 2. Para Tránsito Pesado

- Se recomienda para el diseño de un pavimento de tránsito pesado usar los porcentajes que se muestran en la Tabla N°68.
- Se recomienda el uso del polímero SBS, agregar 4%, para este tipo de tránsito, siendo el costo menor y mayores mejoras en las propiedades mecánicas del pavimento, Incremento de Estabilidad 53.20%( 1869 kg) con respecto al diseño óptimo de Pavimento Convencional y fluencia 2.70 mm.
- En cuanto el polímero EVA da un incremento de Estabilidad en 17.54% (1432 kg) con respecto al Pavimento Convencional y fluencia en 2.10 mm, que es considerable e importante porque se empleó un porcentaje menor que el SBS.
- Se emplea menor cantidad que el polímero SBS, 3% de EVA. Porque empieza a cumplir los parámetros de la norma Como rangos permisibles de fluencia, mientras que el polímero SBS cumple rangos de fluencia a partir del 4%. Además de agregar un porcentaje menor que el Polímero SBS al pavimento convencional, también aumenta la calidad del pavimento, disminuyendo el costo en operación y mantenimiento incrementando su vida útil del pavimento.



- Emplear el polímero EVA una temperatura de 160°C, siendo la temperatura óptima de mezcla. Mientras que el Polímero SBS a una temperatura de 150°C.

### 6.3 Referencias Bibliográficas.

Botasso G., González, R. y Rivera J. (2002). Nuevas Mezclas Asfálticas. LEMaC Centro Investigaciones Viales UTN Reg. La Plata, Argentina.

Desarrollo de la arquitectura y plan maestro de sistemas inteligentes de transporte (ITS) de Perú (2013) - INFORME N° 2: Experiencias de Arquitecturas ITS en cuatro países. Recuperado de <http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/index.html>

Diseño de Planta Asfaltos Modificados en Lima Perú e-asphalt.

Equipo Técnico de Planificación, 2005. "Plan Vial Departamental Participativo De Áncash", Gobierno regional de Ancash, Volumen N°1, 2005. Recuperado de [http://www.proviasdes.gob.pe/planes/ancash/pvpp/PVPP\\_Huari.pdf](http://www.proviasdes.gob.pe/planes/ancash/pvpp/PVPP_Huari.pdf)

Fredy, R (2003) "DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS" Primera Edición, Bogotá: Centro Editorial Javeriano. Pág. 86-98.

Huaman, N, (2011). "La Deformación Permanente En Las Mezclas Asfálticas Y El Consecuente Deterioro De Los Pavimentos Asfálticos En El Perú", Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Hima Kraton, Mezclas Modificadas con Polímeros. Programa de pavimentado de superficies delgadas HiMA TSP2 de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (American Association of State Highway and Transport, AASHTO) (2011), patrocinado por el Centro Nacional para la Conservación de Pavimentos (Center for Pavement



Preservation) de la Universidad de Michigan, (EE.UU y Holanda).

Lemit, S, 2015. "Asfaltos Modificados con polímeros", Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, Vol N°2, setiembre 2015, Buenos Aires. Recuperado de <http://www.lemmit.gov.ar/publicaciones.html>

López, F (2004). "Fundamento de los Polímeros", 1ra edición, Volumen N° 1, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Laboratorio de Organometálicos La Hechicera, Mérida 5101, Venezuela.

López, S y Veloz, Y (2013). "Tesis Análisis Comparativo De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Polímeros SBR y SBS, con Asegados provenientes de la cantera de Guayllabamba", Escuela Politécnica del Ejercito, Sangolqui.

Maila, M, (2013). "Comportamiento De Una Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero Etileno Vinil Acetato (EVA)", Universidad Central del Ecuador, Quito.

Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22.

Repsol, A, (2015). "Asfalto Modificados Repsol", Refinerías Repsol, Volumen N° 1, setiembre 2015, Perú. Recuperado de [http://www.repsol.com/pe\\_es/productos\\_y\\_servicios/productos/p\\_easfaltos/productos/easfalticas/Default.aspx](http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/p_easfaltos/productos/easfalticas/Default.aspx)

Salinas, (2009) "Tesis de Aplicación de micropavimentos usando asfalto modificado con polímero en la vía Sullana", Universidad de Piura. Piura.



## **Direcciones Electrónicas.**

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2012/06/etilvinilacetato-eva.html>

### **Normatividad aplicado a los agregados**

Normas AASHTO Y ASTM aplicables para los agregados.

### **Normatividad aplicada para asfaltos modificados**

Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos modificados.

Viscosidad ASTM D 2171(Viscosidad de asfalto por viscosímetro capilar de vacíos).

Penetración ASTM D 5 (Penetración de materiales bituminosos).

Punto de inflamación ASTM D 92 (Punto de inflamación para materiales bituminosos).

Prueba de película delgada en horno (TFO) ASTM D 1754 (Efectos de calor y aire en materiales asfálticos) y Prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO) ASTM D 2872 (Efectos de calor y aire en una película en movimiento de asfalto).

Ductilidad ASTM D 113 (Ductilidad de materiales bituminosos). Solubilidad ASTM D 2042 (Solubilidad de asfaltos en tricloroetileno). Peso específico ASTM D 70 (Densidad de materiales bituminosos semisólidos).

Punto de ablandamiento ASTM 3695 (Anillo y bola).

Resilencia ASTM D – 3407 (Método de prueba estándar para selladores de juntas, concreto y pavimentos asfálticos).

Recuperación elástica por ductilómetro ASTM D 6084 (Método de prueba estándar para materiales bituminosos).