

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS POLÍMEROS EN LOS ASFALTOS  
PROVENIENTES DE LA REFINERÍA DE TALARA A FIN DE MEJORAR SU  
COMPORTAMIENTO PARA SU APLICACIÓN EN LOS PAVIMENTOS DE LA  
CIUDAD DE PIURA, DEPARTAMENTO DE PIURA”**

**PROYECTO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

Dominguez Palacios, Horacio Luis

Yovera Quintana, Edgardo Jacob

**DOCENTE ASESOR**

Mg. Ing. Mamerto Rodríguez Ramos

**Piura - Perú**

**2020**



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS POLÍMEROS EN LOS ASFALTOS  
PROVENIENTES DE LA REFINERÍA DE TALARA A FIN DE MEJORAR SU  
COMPORTAMIENTO PARA SU APLICACIÓN EN LOS PAVIMENTOS DE LA  
CIUDAD DE PIURA, DEPARTAMENTO DE PIURA”**

**PROYECTO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

Dominguez Palacios, Horacio Luis

Yovera Quintana, Edgardo Jacob

**DOCENTE ASESOR**

Mg. Ing. Mamerto Rodríguez Ramos

**Piura - Perú**

**2020**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, quiero dedicar este trabajo de investigación a Dios, por la fortaleza y salud para poder permitirnos desarrollar el presente proyecto a pesar de las circunstancias, además agradecer a mi familia por el aliento constante para poder lograr esto, con mención especial hacia mi madre, quien es la persona más dedicada y llena de energía para estar presente el día a día; y a mi padre por ser tan amigable y confiable, siempre apoyándonos tanto a mi como mi hermana en los nuevos retos que se nos presentan en la vida.

Finalmente es a ellos y a mi familia a quienes quisiera dedicarles este trabajo por su confianza y presencia constante.

Bach. Dominguez Palacios, Horacio Luis.

## **DEDICATORIA**

Dedicar el presente trabajo de investigación a Dios, agradeciéndole por la fortaleza que siempre nos brinda para poder continuar el arduo trabajo que implica todo. Agradecer también a mis familiares por toda la formación que me han brindado en el transcurso de mi vida, ya que gracias a esas enseñanzas es por lo cual ahora estoy logrando mis metas.

Bach. Yovera Quintana, Edgardo Jacob.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos principalmente a nuestros padres y familiares que nos dieron su confianza y apoyo en todo momento.

Nuestro más profundo agradecimiento a: Ingeniero Jorge Antonio Vega Benites y el Ingeniero Mamerto Rodríguez Ramos, por su paciencia y esfuerzo en mejorar las habilidades y destrezas de nosotros mismos, por su crítica certera, por las conversaciones, por su preocupación que iba desde lo académico a lo cotidiano, por ende, de lo intangible a lo concreto. A Nuestra Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, por el apoyo brindado en la etapa de nuestra titulación. A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que a lo largo de la formación académica nos inculcaron la dedicación al estudio y la constancia personal.

## RESUMEN

La presente investigación parte de la realidad de los pavimentos en la región Piura, en donde del total de vías asfaltadas el 40% se encuentra en mal estado, considerando como factores determinantes de este resultado el clima y el tráfico. Por tal motivo se plantea el análisis de investigaciones, en los cuales el tema esencial de estas es evaluar las condiciones y el comportamiento de los asfaltos en diferentes realidades, con el adicionamiento porcentual del polímero (Plastómero o Elastómero). Se da a conocer que la investigación realizada en la presente tesis, debido a la coyuntura, es solo de análisis de datos obtenidos por los autores citados agregándole el enfoque situacional que se vive en Piura.

De las investigaciones se obtuvo que la elección de asfalto depende de la condición climática a la que estarán expuestos, la cual es muy variada en Piura, siendo esto regido por normativa peruana. Por tanto, se analiza polímeros que modifiquen y compatibilicen con los asfaltos comerciales. En cuanto a los pavimentos modificados con polímero tipo elastómero, considerando al SBS del cual al ser empleado para modificar asfaltos arrojó resultados de: mejora en la dureza con una penetración de 91 x 0.1 mm en un asfalto base PEN 85/100, correspondiente al 51% de incremento en su dureza; aumento en el punto de ablandamiento a 70°C, representando un incremento del 40% respecto al asfalto convencional; recuperación elástica del 80%, mientras que en el asfalto convencional según datos de la refinería talara es del 13% y en una segunda investigación analizada se conoció que para un asfalto 60/70 se evidenció un aumento en la estabilidad Marshall en un 53% respecto al asfalto convencional. La evaluación realizada a asfaltos modificados con polímero tipo elastómero, dentro de los comerciales considerados tenemos al EVA y PET. El primero modificador de asfaltos tipo 60/70 arroja resultados de aumento en la estabilidad Marshall de 17.34%, el segundo polímero denota incremento en la estabilidad Marshall de 9.6% y en el flujo en 6.52% en comparación de la mezcla convencional. Por otro lado, la utilización de polímeros influye en un 22% adicional al costo convencional de la mezcla asfáltica.

De los resultados encontrados, se afirma que la mezcla asfáltica modificada con polímeros elásticos adopta dureza y recuperación elástica, lo que se traduce en una mejor resistencia al ahuellamiento, debido al aumento del punto de

ablandamiento; mientras que los polímeros tipo plastómeros le proporcionan a la mezcla mejoras tanto en la estabilidad y flujo asociado directamente con la resistencia a las cargas que está sometida la estructura asfáltica.

## ABSTRACT

The present investigation starts from the reality of the pavements in the Piura region, where of the total of asphalted roads, 40% are in poor condition, considering the weather and traffic as determining factors of this result. For this reason, the analysis of research is proposed, in which the essential theme of these is to evaluate the conditions and behavior of asphalt in different realities, with the percentage addition of the polymer (Plastomer or Elastomer). It is announced that the research carried out in this thesis, due to the situation, is only of data analysis obtained by the aforementioned authors, adding the situational approach that is lived in Piura.

From the investigations it was obtained that the choice of asphalt depends on the climatic condition to which they will be exposed, which is very varied in Piura, this being governed by Peruvian regulations. Therefore, polymers that modify and make compatible with commercial asphalts are analyzed. Regarding pavements modified with elastomer-type polymer, considering the SBS of which, when used to modify asphalt, gave results of: improvement in hardness with a penetration of 91 x 0.1 mm in a PEN 85/100 base asphalt, corresponding to 51 % increase in its hardness; increase in the softening point at 70°C, representing an increase of 40% with respect to conventional asphalt; elastic recovery of 80%, while in conventional asphalt according to data from the talara refinery it is 13% and in a second analyzed investigation it was known that for a 60/70 asphalt an increase in Marshall stability was evidenced by 53% with respect to to conventional asphalt. The evaluation carried out on asphalt modified with elastomeric polymer, within the commercial considered we have EVA and PET. The first type 60/70 asphalt modifier shows an increase in Marshall stability of 17.34%, the second polymer shows an increase in Marshall stability of 9.6% and in flow in 6.52% compared to the conventional mix. On the other hand, the use of polymers influences an additional 22% to the conventional cost of the asphalt mix.

From the results found, it is stated that the asphalt mix modified with elastic polymers adopts hardness and elastic recovery, which translates into better resistance to rutting, due to the increase in the softening point; while plastomer-type polymers provide the mixture with improvements in stability and flow directly

associated with the resistance to the loads that the asphalt structure is subjected to.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	4
DEDICATORIA .....	5
AGRADECIMIENTOS .....	6
RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	9
PRESENTACIÓN .....	17
<b>I. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>18</b>
1.1.1. <i>Realidad Problemática</i> .....	18
1.1.2. <i>Enunciado del problema</i> .....	21
1.1.3. <i>Formulación del problema</i> .....	21
<b>1.2. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
1.2.1. <i>Objetivo General</i> .....	21
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	21
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>22</b>
A. <i>Teórica</i> .....	22
B. <i>Técnica</i> .....	22
C. <i>Metodológica</i> .....	22
D. <i>Económica</i> .....	22
E. <i>Social</i> .....	23
<b>II. CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.2.1. <i>Pavimento Asfáltico</i> .....	25
2.2.2. <i>Producción del Asfalto</i> .....	28
2.2.3. <i>Análisis del Diseño de Mezcla de Asfaltos</i> .....	29
A. <i>Agregados</i> .....	29
B. <i>Asfaltos de Pavimentación</i> .....	29
C. <i>Composición Química y su relación con las Propiedades Físicas</i> .....	34
2.2.4. <i>Fallas y patologías en Pavimentos Flexibles</i> .....	35
2.2.5. <i>Asfalto Modificado</i> .....	39
A. <i>Polímeros</i> .....	40
B. <i>Polímeros utilizados en la modificación de Asfaltos</i> .....	41
2.2.6. <i>Caracterización de los Asfaltos</i> .....	43
2.2.7. <i>Ventajas del uso de Asfaltos Modificados</i> .....	44
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>45</b>
<b>2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>46</b>
<b>2.5. VARIABLES E INDICADORES .....</b>	<b>46</b>
<b>III. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA EMPLEADA.....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>49</b>
3.1.1. <i>Clasificación según el objeto de estudio</i> .....	49
3.1.2. <i>Clasificación según el nivel de medición y análisis de la información</i> .....	49
3.1.3. <i>Clasificación según las fuentes de información</i> .....	49
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>49</b>
3.2.1. <i>Población</i> .....	49
3.2.2. <i>Muestra</i> .....	49
<b>3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>49</b>

<b>3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>50</b>
3.4.1. <i>Técnica</i> .....	50
3.4.2. <i>Instrumentos</i> .....	50
<b>3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>50</b>
3.5.1. <i>Análisis del Cemento Asfáltico</i> .....	51
3.5.2. <i>Análisis de los Asfaltos Modificados con Polímeros</i> .....	62
A. Análisis de los Asfaltos Modificados con Polímeros Elastómeros (SBS) .....	63
B. Análisis de los Asfaltos Modificados con Polímeros Plastómeros (EVA y PET).....	85
3.5.3. <i>Comparativo Costo Beneficio</i> .....	106
<b>IV. CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>108</b>
<b>4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>108</b>
4.1.1. <i>De los Asfaltos Modificados con Polímero Elastómeros (SBS)</i> .....	108
4.1.2. <i>De los Asfaltos Modificados con Polímeros Plastómeros (EVA y PET)</i> .....	109
<b>4.2. DOCIMASIA DE HIPÓTESIS</b> .....	<b>111</b>
<b>V. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>111</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>114</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>116</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>117</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>119</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 01: ESTADO DE CARRETERAS NACIONALES .....	19
LA FIGURA 01 NOS MUESTRA UNA REALIDAD SITUACIONAL EN LA QUE LOS POBLADORES PRESENTAN MALAS CONDICIONES DE VIDA, DEBIDO A LA DEFICIENCIA EN CUANTO A LA CALIDAD VIAL, PRODUCIÉNDOSE TIEMPOS DE VIAJE LARGOS, DETERIORO DEL BIEN VEHICULAR, ENTRE OTROS FACTORES QUE INFLUYEN DIRECTAMENTE AL DESARROLLO DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS Y SOCIALES. ....	19
FIGURA 02: ESTADO VIAL PIURA .....	20
FIGURA 03: SISTEMA MULTICAPA – PAVIMENTO FLEXIBLE .....	26
FIGURA 04: DIAGRAMA DE FLUJO PARA ASFALTOS DE PETRÓLEO .....	28
FIGURA 05: COMPOSICIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA .....	32
FIGURA 06: PROCESO DE ROTURA DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA .....	33
FIGURA 07: COMPOSICIÓN DE LOS ASFALTENOS.....	34
FIGURA 08: ESTRUCTURA MOLECULAR DE LOS MALTENOS .....	35
FIGURA 09: GRIETA DE CONTRACCIÓN .....	36
FIGURA 10: PIEL DE COCODRILO – SEVERIDAD BAJA .....	36
FIGURA 11: PIEL DE COCODRILO – SEVERIDAD MEDIA.....	36
FIGURA 12: PIEL DE COCODRILO – SEVERIDAD ALTA .....	37
FIGURA 13: EXUDACIÓN EN PAVIMENTOS.....	37
FIGURA 14: CORRUGACIONES.....	38

FIGURA 15: GRIETAS DE BORDE .....	38
FIGURA 16: AHUELLAMIENTO .....	39
FIGURA 17: BACHES .....	39
FIGURA 18: RIGIDEZ VS TEMPERATURA, PARA ASFALTOS CONVENCIONALES Y MODIFICADOS. ....	40
FIGURA 19: CADENAS DE HOMOPOLÍMERO Y HETEROPOLÍMERO .....	41
FIGURA 20: PARÁMETROS CLIMÁTICOS .....	53
FIGURA 21: TEMPERATURA DEL AIRE, SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO Y A DIFERENTES PROFUNDIDADES .....	55
FIGURA 22: TEMPERATURAS DEL PAVIMENTO A DIFERENTES PROFUNDIDADES OBTENIDAS DURANTE 24 HORAS, SETIEMBRE DEL 2010 .....	56
FIGURA 23: TERMOGRAMA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS MENSUALES....	57
FIGURA 24: RADIACIÓN MÁXIMA MENSUAL .....	57
FIGURA 25: VIENTO MÁXIMA MENSUAL.....	58
FIGURA 26: HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA Y MÍNIMA EN LA REGIÓN PIURA .....	58
FIGURA 27: MAPA DE DISTRIBUCIÓN DEL PG EN EL PERÚ .....	61
FIGURA 28: ANÁLISIS DE RESULTADOS %PET VS ESTABILIDAD .....	99
FIGURA 29: ANÁLISIS DE RESULTADOS %PET VS ESTABILIDAD .....	99

#### ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 01 .....</b>	<b>29</b>
<b>SELECCIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO .....</b>	<b>29</b>
<b>TABLA 02 .....</b>	<b>30</b>
<b>ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO CLASIFICADO POR PENETRACIÓN ..</b>	<b>30</b>
<b>TABLA 03 .....</b>	<b>31</b>
<b>ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD.....</b>	<b>31</b>
<b>TABLA 04 .....</b>	<b>44</b>
<b>ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR GRADO DE VISCOSIDAD .....</b>	<b>44</b>
<b>TABLA 05 .....</b>	<b>47</b>
<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE .....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 06 .....</b>	<b>48</b>
<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE.....</b>	<b>48</b>
<b>TABLA 07 .....</b>	<b>52</b>
<b>USO DE CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADUADOS POR PENETRACIÓN EN FUNCIÓN DEL CLIMA. ....</b>	<b>52</b>
<b>TABLA 08 .....</b>	<b>52</b>
<b>SELECCIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO .....</b>	<b>52</b>
<b>TABLA 09 .....</b>	<b>60</b>

<b>GRADO DE DESEMPEÑO SEGÚN EL TIPO DE ASFALTO .....</b>	<b>60</b>
<b>TABLA 10 .....</b>	<b>64</b>
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ASFALTOS.....</b>	<b>64</b>
<b>TABLA 11 .....</b>	<b>65</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DEL LIGANTE MODIFICADO CON SBS.....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 12 .....</b>	<b>65</b>
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS SBS.....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 13 .....</b>	<b>67</b>
<b>EFFECTOS DEL POLÍMERO EN LA PENETRACIÓN.....</b>	<b>67</b>
<b>TABLA 14 .....</b>	<b>68</b>
<b>EFFECTOS DEL POLÍMERO EN EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO.....</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 15 .....</b>	<b>68</b>
<b>EFFECTOS DEL POLÍMERO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA TORSIONAL .....</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 16 .....</b>	<b>71</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO MODIFICADO PRODUCIDO EN EL LABORATORIO.....</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 17 .....</b>	<b>72</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO MODIFICADO PRODUCIDO EN CAMPO.....</b>	<b>72</b>
<b>TABLA 18 .....</b>	<b>73</b>
<b>DISEÑO DE MEZCLA CON MARSHALL DE ASFALTOS MODIFICADOS .....</b>	<b>73</b>
<b>TABLA 19 .....</b>	<b>74</b>
<b>RANGOS DE PENETRACIÓN SEGÚN LA TEMPERATURA.....</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 20 .....</b>	<b>74</b>
<b>PROPORCIONES POR CADA PORCENTAJE DE POLÍMERO SBS .....</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 21 .....</b>	<b>75</b>
<b>PROPORCIONES POR CADA PORCENTAJE DE POLÍMERO SBS .....</b>	<b>75</b>
<b>TABLA 22 .....</b>	<b>76</b>
<b>PROPORCIONES POR CADA PORCENTAJE DE POLÍMERO SBS .....</b>	<b>76</b>
<b>TABLA 23 .....</b>	<b>78</b>
<b>ESTABILIDAD Y FLUJO CONVENCIONAL EN TRÁFICO LIVIANO.....</b>	<b>78</b>
<b>TABLA 24 .....</b>	<b>79</b>
<b>ESTABILIDAD Y FLUJO CONVENCIONAL EN TRÁFICO PESADO.....</b>	<b>79</b>
<b>TABLA 25 .....</b>	<b>80</b>
<b>ESTABILIDAD Y FLUJO PARA TRÁNSITO LIVIANO.....</b>	<b>80</b>
<b>TABLA 26 .....</b>	<b>81</b>
<b>RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLÍMERO SBS – TRÁNSITO LIVIANO .....</b>	<b>81</b>
<b>TABLA 27 .....</b>	<b>82</b>

ESTABILIDAD Y FLUJO PARA TRÁNSITO PESADO.....	82
TABLA 28 .....	83
RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLÍMERO SBS – TRÁNSITO PESADO .....	83
TABLA 29 .....	84
REQUISITOS DE MEZCLA DE CONCRETO BITUMINOSO .....	84
TABLA 30 .....	85
RANGOS DE PENETRACIÓN SEGÚN LA TEMPERATURA.....	85
TABLA 31 .....	86
PROPORCIONES POR CADA PORCENTAJE DE POLÍMERO EVA .....	86
TABLA 32 .....	86
PROPORCIONES POR CADA PORCENTAJE DE POLÍMERO EVA .....	86
TABLA 33 .....	87
PROPORCIONES POR CADA PORCENTAJE DE POLÍMERO EVA .....	87
TABLA 34 .....	87
PROPORCIONES POR CADA PORCENTAJE DE POLÍMERO EVA .....	87
TABLA 35 .....	88
PROPORCIONES POR CADA PORCENTAJE DE POLÍMERO EVA .....	88
TABLA 36 .....	89
ESTABILIDAD Y FLUJO CONVENCIONAL EN TRÁFICO LIVIANO.....	89
TABLA 37 .....	90
ESTABILIDAD Y FLUJO CONVENCIONAL EN TRÁFICO PESADO. ....	90
TABLA 38 .....	91
ESTABILIDAD Y FLUJO PARA TRÁNSITO LIVIANO.....	91
TABLA 39 .....	92
RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLÍMERO EVA – TRÁNSITO LIVIANO .....	92
TABLA 40 .....	93
ESTABILIDAD Y FLUJO PARA TRÁNSITO PESADO.....	93
TABLA 41 .....	94
RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO MARSHALL CON POLÍMERO EVA – TRÁNSITO PESADO .....	94
TABLA 42 .....	95
REQUISITOS DE MEZCLA DE CONCRETO BITUMINOSO .....	95
TABLA 43 .....	98
SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO POR FIBRAS PET .....	98
TABLA 44 .....	101
DISEÑO DE MESCLA ASFÁLTICA MODIFICADA PARTE 1 .....	101
TABLA 45 .....	102

<b>DISEÑO DE MESCLA ASFÁLTICA MODIFICADA PARTE 2 .....</b>	<b>102</b>
<b>TABLA 46 .....</b>	<b>103</b>
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO .....</b>	<b>103</b>
<b>TALA 47 .....</b>	<b>104</b>
<b>REQUISITOS DEL MÉTODO MARSHALL .....</b>	<b>104</b>
<b>TABLA 48 .....</b>	<b>104</b>
<b>RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA .....</b>	<b>104</b>
<b>TABLA 49 .....</b>	<b>105</b>
<b>RESULTADOS DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO .....</b>	<b>105</b>
<b>TABLA 50 .....</b>	<b>112</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMEROS.....</b>	<b>112</b>
<b>TABLA 51 .....</b>	<b>113</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL .....</b>	<b>113</b>

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del jurado:

Dando cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra disposición, la presente Tesis titulada: **“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS POLÍMEROS EN LOS ASFALTOS PROVENIENTES DE LA REFINERÍA DE TALARA A FIN DE MEJORAR SU COMPORTAMIENTO PARA SU APLICACIÓN EN LOS PAVIMENTOS DE LA CIUDAD DE PIURA, DEPARTAMENTO DE PIURA”**; con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El presente proyecto nace del esfuerzo de querer continuar con la investigación de presiones de agua potable para el mejoramiento del sistema a través de la metodología de sectorización, para generar un pequeño aporte a la ingeniería. Por lo expuesto Señores Miembros del Jurado, ponemos a su disposición el presente trabajo de investigación para su respectivo análisis y evaluación, no sin antes agradecer vuestra gentil atención al mismo.

Atentamente,

**Br. Dominguez Palacios, Horacio Luis**

**Br. Yovera Quintana, Edgardo Jacob**

## I. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1.1. Realidad Problemática

Con el estudio de nuestros antepasados hemos observado que los caminos construidos por ellos fueron muestras de una civilización avanzada, los cuales a través de necesidades básicas tuvieron que incurrir al diseño o formulación de un tipo de comunicación.

Tal y como lo detalla Vergara (2015), dónde nos afirma que la infraestructura vial tiene una vinculación directa con el proceso de evolución económica y social, garantizando la comunicación con el exterior, así como el intercambio de insumos o mercancías que facilitan o benefician la vida de los habitantes. Por estos motivos el tesista nos dice que dicha infraestructura es de mucha importancia dentro del patrimonio de una nación.

Para tener una mejor perspectiva situacional de la problemática, comenzaremos analizando la realidad global, la cual nos arroja una vista bastante amplia sobre la necesidad de tecnologías en pavimentos, ya que cuentan con diversos factores que lo conllevan a su deterioro. Además de necesidades básicas como de comunicarse, ver y socializar con otros seres humanos y con su entorno, esto conlleva a una dura necesidad de rutas y accesos diferentes sitios para que nosotros, como seres humanos, podamos cumplir con la necesidad básica de la convivencia, que incluye la comunicación y socialización, estas rutas deben brindar calidad y un periodo de vida útil que prolongue un buen uso en todo este tiempo.

En el ámbito nacional, según el diario El Peruano (2019) nos dice que tenemos pavimentado el 72% de la Red Vial Nacional y el 13% de la Red Vial Departamental, y que buscan aumentar estas cifras para el bicentenario, pero todo esto sin contar las vías en mal estado o las que necesitan reparación. Hablando de nuestro país, destacamos que contamos con tres regiones naturales con diferentes factores que inciden en el pavimento, ya sea llevándolo a su falla o a su completo deterioro. En muchos departamentos se ha querido subsanar con la

problemática antes mencionada, pero en muchas ocasiones un sobre diseño o recapeo de pavimento no conlleva a soluciones, debido al sobre costo que involucra esto, así como la no solución de mejora del comportamiento del pavimento.

Además, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de inventarios realizados hasta el 2019 nos da valores de los cuales refleja un estado paupérrimo del estado vial nacional.



Figura 01: Estado De Carreteras Nacionales

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 01 nos muestra una realidad situacional en la que los pobladores presentan malas condiciones de vida, debido a la deficiencia en cuanto a la calidad vial, produciéndose tiempos de viaje largos, deterioro del bien vehicular, entre otros factores que influyen directamente al desarrollo de actividades económicas y sociales.

El crecimiento poblacional en conjunto con el clima diverso en el departamento de Piura se puede apreciar fácilmente, esto trae consigo la necesidad de óptimas estructuras viales, este requerimiento se ve reflejado o perturbado por los problemas que se generan debido al alto índice de flujo vehicular y esos cambios de temperatura a los que se somete el pavimento a lo largo de su vida útil. Según la estadística publicada por el MTC (2019) nos muestra un avance en pavimentación de vías en esta región, ya que el 61% del total de caminos piuranos se encuentran con superficie de rodadura, siendo esta una situación de positiva, que conlleva a otro análisis referido al estado de preservación en que se encuentran dichas

carreteras, y las posibilidades de mejora en cuanto al tipo de estructura a plantear.

A continuación, se muestra en la Figura 02 un estudio en el cual se muestra una estadística publicada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, donde nos permite apreciar la realidad piurana en cuanto a red vial.

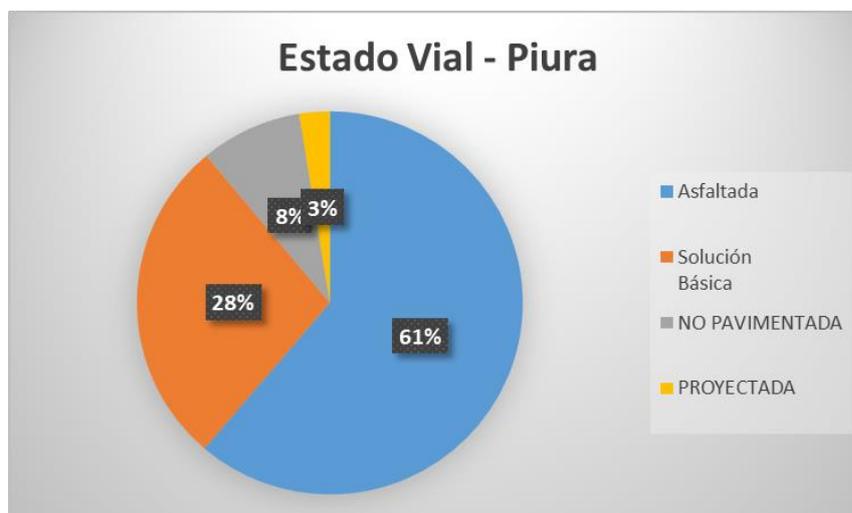


Figura 02: Estado Vial Piura

Fuente: Elaboración Propia

De dicho estudio es factible comentar que si bien hay un porcentaje bastante amplio que se necesita asfaltar, es de importancia realizarlo con metodologías que permitan modificar al pavimento para que su puesta en servicio sea eficiente, perdure con los años y con el crecimiento de los pueblos ya que, del porcentaje de vías asfaltadas, aproximadamente un 40% de estas vías se encuentran en mal estado, no habiendo cumplido su periodo de vida útil debido a que el pavimento no presenta buenas características de resistencia. La realización de pavimentos con nuevas metodologías debe garantizar una mejor calidad de vida para los usuarios y una reducción en cuanto a costos de reparación, recapeo o mantenimiento de dichas vías.

Tal es así que, Galdós y Villareal (2017), nos dicen que para lograr el desarrollo socio-económico de dos zonas, estas deben conectarse entre sí, “mediante un camino o ruta que este en óptimas condiciones, esto llevara a impulsar las actividades comerciales y sobre todo a reducir los tiempos de viaje” (p.11).

Por lo tanto, podemos concluir que actualmente nos encontramos en una fase de construcción repetitiva de pavimentos, todo esto originado por la falta de conservación de nuestras vías, conllevándonos a diseñar una nueva estructura con las nuevas condiciones a la que estará sometida nuestra vía. Por esto se debe plantear una retrospección hacia la construcción de caminos con mejor durabilidad y comportamiento frente a condiciones adversas.

El presente proyecto pretende realizar un diseño que ayude en el comportamiento de las estructuras viales frente a factores que impulsan su deterioro.

#### **1.1.2. Enunciado del problema**

La necesidad de nuevas tecnologías en los pavimentos para mejorar su comportamiento frente a condiciones adversas de aumento de cargas vehiculares, temperatura y humedad comunes en la región de Piura.

#### **1.1.3. Formulación del problema**

¿Permitirá los polímeros en los asfaltos de la refinería de Talara mejorar las características en su comportamiento en la aplicación en los pavimentos de la ciudad de Piura?

### **1.2. OBJETIVOS**

#### **1.2.1. Objetivo General**

Analizar el efecto de los polímeros en los asfaltos provenientes de la Refinería de Talara para mejorar las características en su comportamiento para su aplicación en pavimentos flexibles de la ciudad de Piura.

#### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Analizar el comportamiento de los tipos de polímeros en las mezclas asfálticas.
- ✓ Determinar las ventajas que significa el uso de los polímeros en los pavimentos flexibles.
- ✓ Establecer las condiciones a las que va a estar expuesta los pavimentos modificados, a fin de analizar el polímero óptimo a utilizar.

- ✓ Analizar el impacto del mayor costo que implicaría adicionar los polímeros en las mezclas asfálticas.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

#### **A. Teórica**

Debido a la realidad problemática expuesta anteriormente y a lo apreciado en la zona, podemos notar la necesidad que existe en Piura por el diseño de pavimentos duraderos, otro punto a considerar es la existencia de un gran número de trochas que pueden ser mejoradas para beneficio de todos, además que ayuden a contrarrestar los problemas viales que sufre la ciudad, trayendo consigo diversos problemas sociales como estrés y pérdidas de tiempo la cual desencadena una serie de sub problemas que no colaboran con el desarrollo de la región. En teoría, el diseño de vías con pavimentos modificados mejorará la transitabilidad y tiempo de vida de carreteras en la Región Piura.

#### **B. Técnica**

Técnicamente hablando, el diseño de pavimento flexible modificado garantizaría una mejora en las futuras propuestas en los proyectos de inversión, ya que estos tendrán un mayor tiempo de vida útil y prestarán mejores garantías debido al correcto diseño.

#### **C. Metodológica**

El presente proyecto pretende ayudar a futuros proyectos a realizar un trabajo completo implementando las tecnologías que se van a tratar en este trabajo de investigación, para favorecer a la región de Piura, ya que se seguirá la metodología adecuada para el diseño, pretendiendo mejorar calidad de los pavimentos flexibles en toda la región dándole al usuario la satisfacción al transitar.

#### **D. Económica**

El impacto económico que tendrá dentro de la población piurana la construcción de pavimentos flexibles modificados será favorable para la misma, de manera directa o indirecta, al utilizar esta metodología, la población aminorará tiempos, las autoridades invertirán menos en mantenimiento pudiendo dedicar presupuesto a otros fines, la

congestión vehicular disminuirá, los usuarios llegarán a sus centros laborales sin alteraciones causadas por el mal estado de las vías, mejorando de la productividad, entre otros beneficios.

#### **E. Social**

En el ámbito social, se pretende que en un futuro este proyecto puede llegar a tener como beneficiarios al 100% de la población, ya que, de ejecutar el diseño de pavimentos mejorados en el total de vías sin pavimentar, los usuarios se verán aliviados de cierto modo directa o indirectamente (si se usa la vía, y si no, la descongestión vehicular que traerá consigo la tranquilidad del uso de vías poco transitables, acortando tiempos).

## **II. CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

- ✓ Conejo y Vargas (2017) en su investigación denominada “Análisis comparativo del comportamiento mecánico de mezclas de concreto asfáltico tipo 2 (MDC-19) con adición de polímeros”, plantean el diseño de un pavimento asfáltico siguiendo la metodología convencional de Marshall, a su vez en este proceso incorporar polímeros con diferentes cantidades en porcentajes buscando el mejor comportamiento mecánico del asfalto. En dicho proceso de elaboración de briquetas se pudo constatar diferencias significativas, del cual destaca el ponente que el polímero (tiras de polisombra 15cm) mejora en el 40% de la estabilidad, disminuye la cantidad de vacíos en un 25% e incrementa la resistencia al desgaste, todas estas características comparándolas con la mezcla asfáltica convencional. En cuanto a deficiencia de la mezcla el tesista solo destaca que la homogeneidad de la mezcla es baja, debido a que la fusión del asfalto respecto a la del material o polímero es más baja.

**Aporte:** La tesis descrita anteriormente, nos refleja que a mayores cantidades de polímeros agregados no siempre afectara positiva y directamente la mezcla, por ende, es de facultad del investigador llegar a un porcentaje prudente que beneficie la mezcla asfáltica,

además que este dentro de los parámetros permitidos por los reglamentos nacionales pertinentes.

- ✓ Salamanca (2018) en su tesis denominada “Estudio Comparativo del Comportamiento de Mezcla Asfáltica con Incorporación de Polvo de Caucho Nacional, mediante Vía Seca, versus Mezcla con Asfalto Modificado con Polímeros y Asfalto Multigrado. Tramo de Prueba: Catapilco – La Laguna”, propuso la comparación de estas mezclas a través de los siguientes ensayos de laboratorio: Estabilidad, Fluidez, Modulo Resilente, Ahuellamiento y Fatiga. Seguido de extracción de muestras del tramo experimental, para efectuar controles (medición de deflexiones, IRI y Resistencia al deslizamiento) funcionales al pavimento.

Resultando entre las ventajas encontradas de la comparativa:

- El asfalto modificado con caucho es dos veces más rígido que los asfaltos multigrados y modificado con polímeros.
- El asfalto modificado con polímeros encabeza el mejor comportamiento a la fatiga, seguido del asfalto con caucho que supera en poco rango al asfalto convencional.
- Del tramo efectuado en prueba, después de dos años se observa que no hay deterioro por ahuellamiento, a pesar del alto índice de tráfico pesado en la zona.

**Aporte:** De esta tesis es de resaltar el proceso de digestión que se debe seguir en las mezclas modificadas con caucho, considerando el tiempo de traslado de planta a su colocación. Esto para la correcta incorporación de las propiedades de este asfalto modificado.

- ✓ Una investigación de Villafana y Ramírez (2019) denominada “Análisis del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS BETUTEC IC y una Mezcla Asfáltica Convencional 60/70” propone una caracterización basada en la comparación de dos mezclas, señalando que la mezcla modificada tendrá un 3.5% de polímero añadido, destacando entre ellas el encontrar valores de estabilidad, flujo y óptimo contenido de asfalto, además de determinar la resistencia al ahuellamiento en condiciones húmedas y su oposición a la deformación permanente.

Con ayuda de la metodología Marshall, la Rueda de Hamburgo y pruebas de Deformación permanente los tesisas obtuvieron diferencias significativas en cuanto a las propiedades comparadas entre ambos pavimentos, resaltando la superioridad de la mezcla modificada con polímeros. Además, ellos hacen un hincapié en cuanto a los costos que conlleva realizar la pavimentación añadiendo polímeros, pero si bien es cierto replantean que esta superioridad se ve reflejada en los mantenimientos o reparaciones que se les hacen a los pavimentos convencionales durante su vida útil.

**Aporte:** Esta tesis nos deja aporte como la implementación de estudios en nuestro país, principalmente en vías donde los índices de tráfico y eso vehicular son elevados, esto conjunto con el clima frígido de la ciudad en estudio hacen el requerimiento de las tecnologías que plantearon.

- ✓ Salcedo de la Vega (2008) en su investigación “Experiencia de modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS en obra”, mostró a través de su experimentación una modificación del cemento asfáltico convencional usado en la zona de Piura a fin de aminorar los problemas de ahuellamiento y bacheo superficial presentes en la vía Sullana – Aguas Verdes, todo esto durante el proceso de ejecución de obra.

**Aporte:** La modificación del cemento asfáltico con polímeros SBS mostro un aumento en el punto de ablandamiento de 20°C, siendo el convencional de 50°C, necesitando 70°C, esto representa un 40% lo cual indica que el asfalto modificado con polímero SBS será más resistente a las deformaciones y otros problemas.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Pavimento Asfáltico

El pavimento asfáltico es aquel que encontramos constituido por una carpeta bituminosa de mezcla asfáltica o asfalto que se encuentra apoyada en dos capas, una base y una subbase, dichas capas son no rígidas, lo que proporciona flexibilidad al pavimento.

El peso del vehículo que transita por la vía tiene un efecto disminuido a través de los espesores de las capas subyacentes a la carpeta bituminosa debido a la alta flexibilidad, tal y como se muestra en la Figura 03.

De esto nos habla Diego Salamanca (2018, pág. 20), donde nos refiere a que el objetivo de estas capas en la estructura es que durante la distribución de cargas sea de tal forma efectiva que cuando estas lleguen a la subrasante no superen su resistencia estructura.

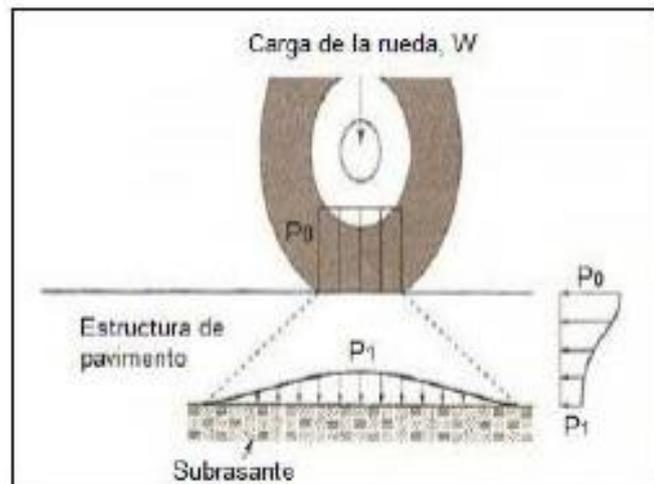


Figura 03: Sistema Multicapa – Pavimento Flexible

Fuente: Rodrigo Delgadillo (citado en Diego Salamanca, 2018, pág.21)

La carpeta bituminosa o carpeta asfáltica está constituida principalmente de agregados y algunos asfaltos, Sanchez (2016) definió el asfalto como un “material bituminoso de color negro”, el cual se encuentra principalmente conformado por elementos asfálticos, aceites y resinas las cuales le dan a la mezcla propiedades de consistencia, aglutinación y ductilidad; en condiciones de altas temperaturas es muy blando y hasta puede alcanzar una consistencia líquida, conforme la temperatura va disminuyendo a la expuesta inicialmente, la mezcla va adquiriendo una consistencia más sólida.

A manera de reseña histórica podemos mencionar algunos datos resaltantes sobre la producción y composición del asfalto:

- ❖ En Sumeria, hacia los 6000 a.C, la torre de Babel fue una de las tantas construcciones en donde fue usado como mortero o ligante para los elementos estructurales.
- ❖ Entre los 3200 y 2600 a.C en Egipto se usaba como impermeabilizante.
- ❖ En este mismo país, hacia los 300 a.C lo usaron para los embalsamientos de sus cadáveres.
- ❖ En algunas ciudades de Francia de 1802 d.C se utilizaron rocas asfálticas para pavimentar calles, puentes y aceras.
- ❖ Para 1838 d.C se dio el uso anterior en Filadelfia.
- ❖ En 1870 se dio la construcción del primer pavimento asfáltico en Nueva Jersey, por el químico belga DeSmedt.
- ❖ En 1902 se empezó con la obtención de asfalto mediante la destilación de petróleo, en Estados Unidos, llegando a una producción de casi 120,000 barriles al año.

El asfalto lo empleamos generalmente para construcciones firmes como carpetas de rodadura o capas inferiores y debe cumplir con la función de proporcionar un rodamiento cómodo sobre una superficie, lo cual debe brindarnos seguridad y debe ser de manera económica evitando contratiempos y comunicando a los usuarios a manera de facilitar la circulación de vehículos entre las vías.

Según Valdivia V. (2017) entre las propiedades físicas de la carpeta asfáltica podemos encontrar:

- ❖ Durabilidad: es la resistencia de la carpeta, a su envejecimiento y degradación, el cual depende del diseño de mezcla, calidad de los agregados, mano de obra, entre otros.
- ❖ Adhesión y cohesión: es la capacidad de adherencia del cemento asfáltico con los agregados, en tanto a la cohesión es la cualidad del cemento asfáltico de mantener las partículas firmes y compactas, evitando su desprendimiento.
- ❖ Susceptibilidad a la temperatura: el asfalto es un material termoplástico, el cual varía de acuerdo a la temperatura, si esta es más baja se vuelve más consistente en comparación a

cuando tenemos temperatura elevada volviéndose menos consistente o menos viscoso.

- ❖ Endurecimiento y envejecimiento: esta característica debe ser ensayada previamente para un buen trabajo constructivo, realizando los trabajos en bajas temperaturas y en el menor tiempo posible.

### 2.2.2. Producción del Asfalto

Siendo un material adhesivo, impermeable y cementante, se encuentra extraíble de yacimientos o puede ser producido en refinerías. En esta última se puede decir que se procesa con mejor calidad, ya que es extraído a base de petróleo considerando la aplicación de tecnologías que garantizan una composición química óptima, del cual se desprenden diversos grados de asfaltos de acuerdo al uso y ubicación donde es requerido. De esta manera se encuentra plasmado el diagrama de flujo para asfaltos de petróleo de la Figura 04.

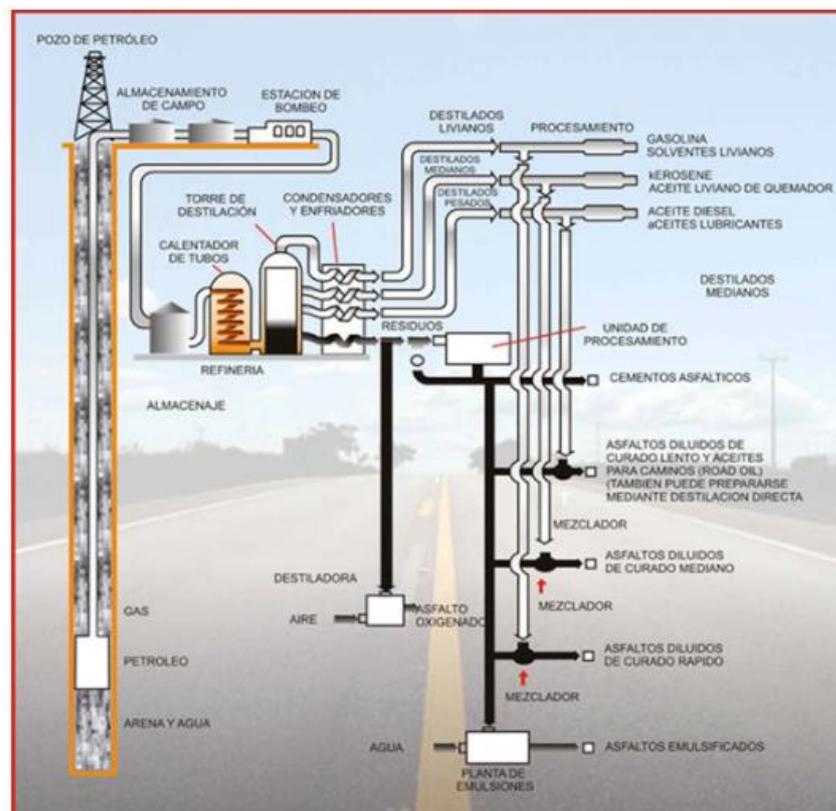


Figura 04: Diagrama de Flujo para Asfaltos de Petróleo

Fuente: Portal PetroPerú

### 2.2.3. Análisis del Diseño de Mezcla de Asfaltos

#### A. Agregados

El Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, nos señala que los agregados pétreos utilizados en tratamientos o mezcla bituminosa deberán garantizar que con el accionar del agua y el tránsito, estos no se desprenderán.

Por tal el presente reglamento caracteriza a los agregados componentes de esta mezcla, por lo cual denomina agregado grueso a todo material pétreo que es retenido en el tamiz 4,75 mm (N.º 4), agregado fino a los materiales retenidos entre los tamices 4,75 mm y 75 µm (N.º 4 y N.º 200) y el polvo o filler serán aquellos que pasen el tamiz 75 µm (N.º 200).

#### B. Asfaltos de Pavimentación Cemento Asfáltico

De acuerdo a lo establecido por el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, la clasificación del cemento asfáltico a emplear será de acuerdo a su viscosidad y penetración. Además, el aspecto climático donde se va a utilizar juega un papel fundamental a la hora de estimar un cemento asfáltico con condiciones óptimas.

Tabla 01  
Selección del Cemento Asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

En consiguiente el mismo Manual establece las condiciones de calidad referidas anteriormente en cuanto a penetración y viscosidad.

Tabla 02  
Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) <sup>(1)</sup>	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(2)</sup>											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
<b>Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h</b>											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm <sup>(3)</sup>	MTC E 306			50		75		100		100	

(1),(2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

Tabla 03  
Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(1)</sup>					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo.

Fuente: ASTM D 3381, NTP

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

## Emulsiones Asfálticas

El Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, lo describe como un producto bituminoso, compuesto por asfalto, emulsificante y agua.

Ulloa (citado por Rodríguez y Torres, 2018) nos comenta que para el correcto separado de las partículas de asfalto es necesario el uso de un molino coloidal, permitiendo así la combinación de estas con el agente emulsificante. La principal función de este último es garantizar la estabilización de la mezcla evitando la separación del asfalto y el agua.

El autor detalla la composición de una emulsión asfáltica en la figura 05, señalando dos fases: una fase de medio continuo, conocida como fase acuosa o jabonosa que mantiene separadas las partículas de asfalto, siendo esta ultima la fase dispersa.

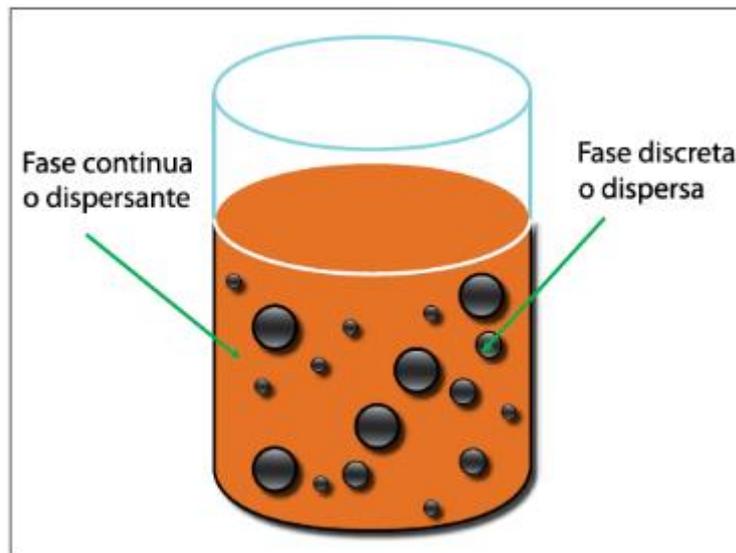


Figura 05: Composición de una Emulsión Asfáltica

Fuente: Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio (Ulloa, A. – 2012).

De la producción de las emulsiones asfálticas, observamos que las partículas de asfalto están separadas y rodeadas por el emulsificante, quien debido a su carga eléctrica evita que las moléculas de asfalto se atraigan entre sí. El proceso de unión del asfalto se muestra en la figura 06, también llamado coalescencia ocurre cuando el agua ha sido evaporada en su totalidad, conocido

este fenómeno como de rotura o pérdida de estabilidad de la emulsión.

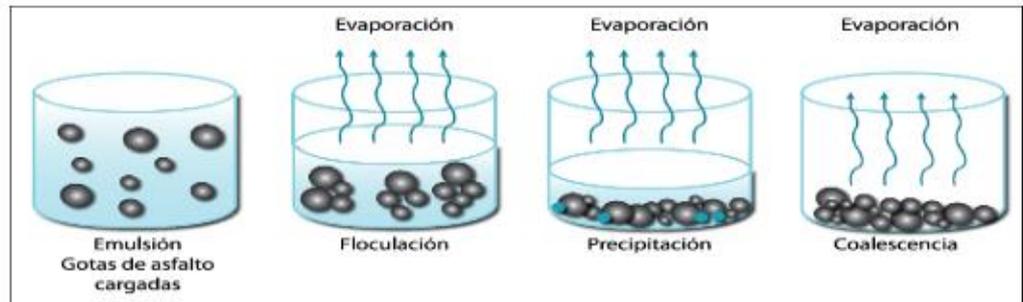


Figura 06: Proceso de Rotura de la Emulsión Asfáltica

Fuente: Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio (Ulloa, A. - 2012)

El Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, clasifica a las emulsiones como de rotura rápida, media y lenta, su uso es determinado de acuerdo a la aplicación que se le va a dar. Además, establece que estas son las responsables de las modificaciones que se le hacen a la mezcla asfáltica, siendo evaluado para el proyecto y aprobados por el supervisor el tipo de polímero modificador de acuerdo a sus requerimientos de calidad y dosificación.

### **Asfaltos Rebajados**

El Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, los caracteriza como materiales de consistencia suave y fluida. Dichos son producidos en refinería diluyendo el cemento asfáltico en algún derivado del petróleo, conforme este último se evapore estos asfaltos se clasificarán en:

- Asfalto de Curado Rápido (RC): Disolvente usado es de tipo nafta o gasolina.
- Asfalto de Curado Medio (MC): Disolvente usado es Kerosene.
- Asfalto de Curado Lento (SC): Disolvente empleado es aceite liviano.

### C. Composición Química y su relación con las Propiedades Físicas

Calabi (citado por Liyao Chen Tan, 2018), nos da a conocer que una matriz de menor peso se encarga de disolver a un sistema coloidal de gran peso molecular, siendo esta última conformada por Asfaltenos y Maltenos, los cuales veremos a detalle a continuación:

#### ❖ Asfaltenos

El Portal PetroPerú los define como hidrocarburos aromáticos de gran peso molecular. Wulf (citado por Liyao Chen Tan, 2018), nos dice que estos son los encargados de dar la dureza al asfalto, según la composición de Asfaltenos como se muestra en el Figura 05

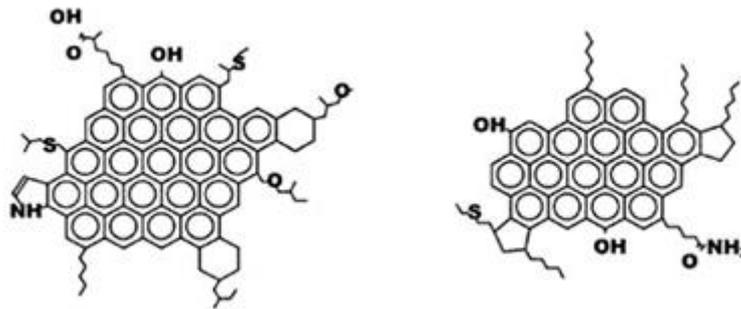


Figura 07: Composición de los Asfaltenos

Fuente: Portal PetroPerú

#### ❖ Maltenos

Fernandez y Rondon (citado por Liyao Chen Tan, 2018), nos dice que están compuestos por Aromáticos y Saturados, siendo estos últimos los de menor presencia, representando entre 5% - 20% del total de ligante asfáltico, mientras que los aromáticos los de mayor proporción de entre 35% - 50% del total de ligante asfáltico y siendo estos el medio de dispersión de los asfaltenos.

Entre sus características las moléculas de los maltenos aportan propiedades como la adhesión, aspecto sólido a temperatura ambiente y el color negro, representan entre 30% - 45% del total de ligante asfáltico.

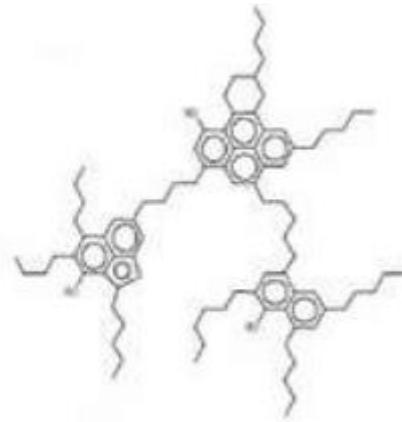


Figura 08: Estructura molecular de los Maltenos

Fuente: Navarro, Alvarez y Grosso (Citado por Liyao Chen Tan - 2018).

#### 2.2.4. Fallas y patologías en Pavimentos Flexibles

Rodríguez (citado por Ruiz y Guevara, 2016) nos dice que un camino es calificado de acuerdo a su índice de servicio, calificando a las obras recién concluidas con índice de servicio hasta 4.5, el cual con el tiempo disminuye con razón proporcional a su uso y a su tiempo de vida determinado. A su vez refiere los problemas que representan que un camino de primer orden o una autopista alcance nivel de servicio de 2 a 2.5 representan fallas funcionales en cuanto a la comodidad del viaje y si no se toma las medidas oportunas llega el momento en que la obra llega a su falla estructural. Todos estos procesos de fallas pueden ser ruto de un error en el diseño en cuanto a materiales, espesores o IMD no adecuado.

Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016) nos hace referencia de las siguientes fallas comunes en los pavimentos flexibles:

##### ✓ **Grietas de Contracción o de bloque**

Originado por la contracción del asfalto y por las temperaturas a la cual está sometida la vía diariamente.



Figura 09: Grieta de Contracción

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016)

✓ **Piel de Cocodrilo**

La resistencia a la fatiga de la superficie de rodadura se ve afectada debido a la acción del tráfico, y este tipo de falla va desde nivel de severidad bajo hasta moderado, siendo considerado un tipo de falla estructural.



Figura 10: Piel de Cocodrilo – Severidad Baja

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016)



Figura 11: Piel de Cocodrilo – Severidad Media

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016)



Figura 12: Piel de Cocodrilo – Severidad Alta

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016)

✓ **Mancha en Pavimentos**

También denominada “exudación” conocida por una superficie brillante, reflectora y cristalina que resulta ser pegajosa. Se origina por el fallo en el diseño de mezcla, excediendo el porcentaje de asfalto en la mezcla, la aplicación de un sellante o por bajo contenido de vacíos.



Figura 13: Exudación en pavimentos

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016)

✓ **Corrugaciones**

Falla en la carpeta asfáltica o en las bases, originando cimas y depresiones, siendo perpendiculares a la dirección del tránsito.



Figura 14: Corrugaciones

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016)

✓ **Grietas de Borde**

Son imperfecciones que aparecen en el borde exterior de la calzada, usualmente son paralelas a la dirección del tránsito. Se originan debido a la poca resistencia a las variaciones de temperatura o debilitamiento de base o sub-rasante.



Figura 15: Grietas de Borde

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara - 2016)

✓ **Ahuellamiento**

Originados por la carga del tránsito, poca flexibilidad de la superficie de rodadura o desplazamiento lateral de los materiales, lo cual se aprecia como una deformación permanente en el pavimento flexible.



Figura 16: Ahuellamiento

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016)

✓ **Baches**

Constituye un área de pavimento que ha sido reparada con un material o mezcla asfáltica nueva, por lo general esta sección nueva no se comporta tan bien como el pavimento original.



Figura 17: Baches

Fuente: Cipriano (citado por Ruiz y Guevara, 2016)

**2.2.5. Asfalto Modificado**

Salamanca (2018), nos comenta acerca de la realidad situacional a la que están expuestas las carreteras hoy en día, de los cuales hace mención al incremento en los volúmenes de tránsito, mayor número de cargas por eje y la influencia de la presión en el inflado de los neumáticos. Dando como resultado que los pavimentos

convencionales no cumplan con el tiempo proyectado de vida útil de las vías.

Por lo tanto, nació la necesidad de modificar los asfaltos con el objetivo de diseñar asfaltos que garanticen la rigidez a temperaturas elevadas de servicio y dúctiles a bajas temperaturas.

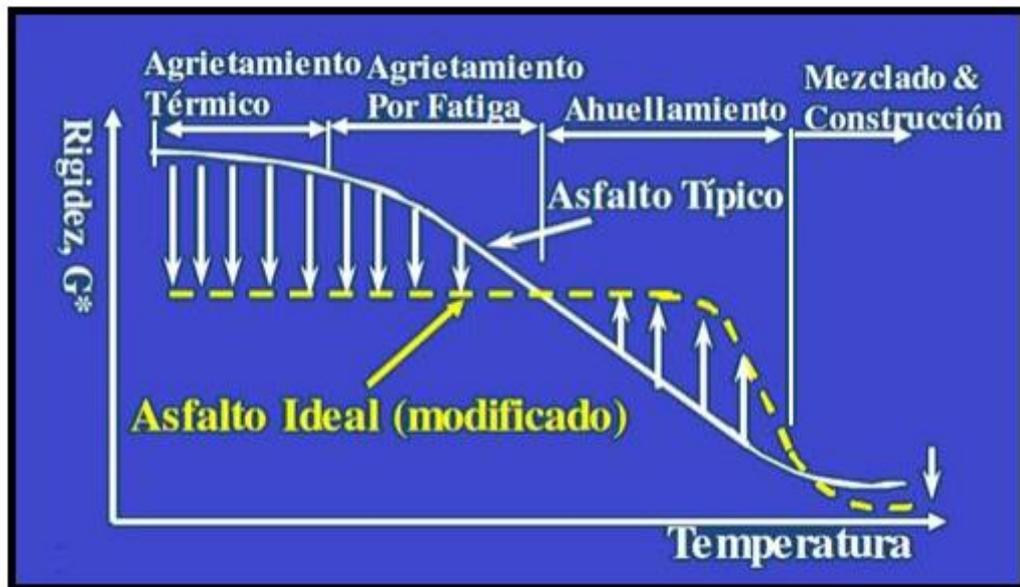


Figura 18: Rigidez vs Temperatura, para asfaltos convencionales y modificados.

Fuente: Delgadillo (citado por Salamanca, 2018)

### A. Polímeros

Salamanca (2018) los define como el conjunto de la unión de miles de monómeros que son moléculas pequeñas, dan lugar a los polímeros conocidos por ser de gran peso molecular y por presentar diferentes formas: escalera, cadenas unidas, cadenas largas o sueltas.

También hace referencia a la tendencia modificadora en cuanto estos son incluidos a mezclas asfálticas, mejorando sus características físicas y reológicas, dentro de las que resaltan la disminución a la susceptibilidad térmica, humedad y oxidación.

Dentro de las cualidades químicas aportantes, nos comenta que debido a que su incorporación produce una actividad iónica la reacción resultante es el incremento de la adherencia entre

los agregados y el asfalto, siendo el beneficio en el aumento de la resistencia a la fatiga y al agrietamiento.

Avellan (citado por Liyao Chen Tan, 2018) diferencia a dos estructuras de polímeros: aquellos conformados por un solo tipo de monómero, denominándolos “Homopolímeros” y los que están conformados por varios tipos de monómeros, llamándolos “Heteropolímero o Copolímero”.

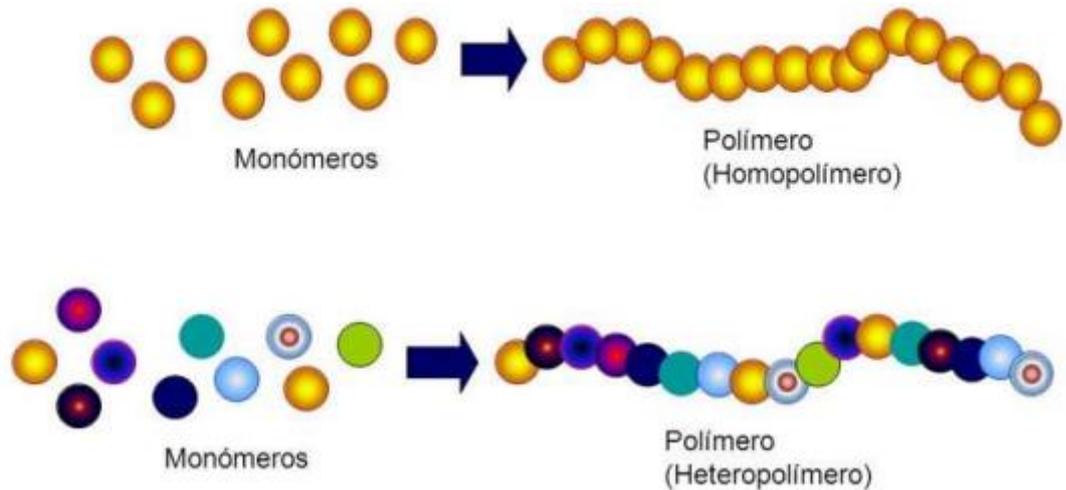


Figura 19: Cadenas de Homopolímero y Heteropolímero

Fuente: Albarracín (citado por Liyao Chen Tan, 2018)

## B. Polímeros utilizados en la modificación de Asfaltos

Escalante (2015) nos habla de la diferencia que existe en la cadena de hidrocarburo que hay entre los polímeros y los asfaltos, predominando el primero incrementando a su vez la rigidez o viscosidad del cemento asfáltico a altas temperaturas. También hace referencia a que el grado del asfalto base es fundamental en la resistencia a bajas temperaturas.

Entonces de acuerdo a su comportamiento mecánico clasificamos a los polímeros en Elastómeros y Plastómeros.

### ✓ Elastómeros

Polímeros que se deforman a condiciones normales de temperatura y a pesar de esto mantienen su resistencia y módulo de elasticidad cuando el esfuerzo aplicado es retirado.

Salamanca (2018) identifica a los más usados, teniendo:

- Estireno-butadieno-estireno (SBS): Usado en pavimentos que presentan alto índice medio diario y de vehículos pesados, tanto para climas cálidos y fríos.
- Caucho Natural (Poliisopreno): Adicionado al asfalto mejora su comportamiento a cambios bruscos de temperatura y a altos índices de tránsito vehicular.
- Goma reciclada: Proveniente de neumáticos en desuso, disminuye el brote de grietas a consecuencia de la fatiga o cambios de temperatura, además de mejorar la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas.

Palma, Ortiz, Ávalos y Castañeda (2015) identifica además de los ya mencionados anteriormente, otro tipo de polímero usado como modificador de asfalto:

- Estireno-butadieno (SBR): Es un caucho sintético conocido por ser como un copolímero de bajo costo y por dispersarse uniformemente en la mezcla, por tanto, el más usado a nivel mundial. En cuanto a sus beneficios al ser incorporado a la mezcla asfáltica Palma, et al. (citado por Liyao Chen Tan – 2018) nos comenta que de entre sus beneficios esta la mejora de la ductilidad, mejora la viscosidad y la recuperación elástica relacionada a la fatiga, además de las propiedades de adhesión y cohesión del asfalto.

#### ✓ Plastómeros

Polímeros que permanecen sólidos a temperatura ambiente, se pueden clasificar como: Termorrígidos y Termoplásticos, estos últimos conocidos por que se ablandan y fluyen con acción del calor.

Figuroa, et al. (citado por Casanova, 2017) hace mención de los siguientes tipos de polímeros plastómeros agrupándolos de acuerdo a sus bondades en la mezcla asfáltica:

- Etileno-Vinil-Acetato (EVA) y Etileno-Butil-Acrílico (EBA)  
De este grupo el investigador presenta ventajas como: Buena resistencia al ahuellamiento y de almacenaje estable, en cuanto a las desventajas tenemos que tanto la

recuperación elástica como en las propiedades a bajas temperaturas es limitada.

- Polietileno (PE) y Polipropileno (PP)

De este grupo el investigador presenta ventajas como: Buen comportamiento a temperaturas elevadas y de bajo costo, en cuanto a las desventajas tenemos que la elasticidad es limitada.

### **2.2.6. Caracterización de los Asfaltos**

Salazar (citado por Liyao Chen Tan, 2018) hace mención de los reglamentos internacionales que caracterizan tanto a los asfaltos convencionales como a los modificados, siendo: ASTM D 3381 el que normaliza el grado de viscosidad, por otro lado, AAHSTO M320 y AASHTO M332 el que rige los grados de desempeño.

- ✓ Grado de Viscosidad

Salazar (citado por Liyao Chen Tan, 2018) nos comenta que consiste en determinar la viscosidad absoluta a 60°C, a través de los siguientes ensayos:

- Viscosidad a 60°C: El ASTM D2171, 2010 señala que este ensayo consiste en analizar tanto el asfalto original como la prueba sometida a envejecimiento RTFO, para así caracterizar la consistencia del asfalto a la temperatura descrita.
- Viscosidad Cinemática a 135°C: El ASTM 2170, 2010.
- Penetración a 25°C: ASTM D5, 2013.
- Punto de Inflamación con copa abierta Cleveland: ASTM D92, 2013.
- Solubilidad en tricloroetileno: ASTM D70, 2010.
- Cambio de masa en horno de película delgada TFO/RTFO: ASTM Internacional, 2014.
- Ductilidad a 25°C (al residuo RTFO): ASTM D113, 2013.

Tabla 04  
Especificaciones para cementos asfálticos clasificados por grado de viscosidad

Ensayo	Unidades	ASTM	Grado de viscosidad					
			AC-25	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad a 60 °C	N-s/m <sup>2</sup>	D2170	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	3000 ± 600	4000 ± 800
Viscosidad a 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	D2170	125	175	250	300	350	400
Penetración 25 °C	1/10 mm	D5	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación	°C	D92	163	177	219	232	232	232
Solubilidad en tricoetileno								
Residuo RTFO	-	D1754	-	-	-	-	-	-
Viscosidad a 60 °C envejecido	N-s/m <sup>2</sup>	D2171	1250	2500	5000	10000	15000	20000
Ductilidad a 25 °C	Cm	D113	100	100	75	50	40	25

Fuente: Salazar (citado por Liyao Chen Tan -2018)

- ✓ Grado de Desempeño
  - Viscosidad Dinámica a 135°C: ASTM D4402, 2015.
  - Efecto del calor y el aire en una película delgada de asfalto en RTFO: ASTM D2872, 2012.
  - Envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando PAV: ASTM D6521, 2013.
  - Determinación de propiedades reológicas de materiales bituminosos: ASTM D7175, 2015.

### 2.2.7. Ventajas del uso de Asfaltos Modificados

Las ventajas que confiere el uso de esta tecnología son muchas en comparación a los convencionales, tal es así que Pereda y Cubas (2015) agrupan estas mejoras como:

- ✓ Mecánicas
  - Aminorar la susceptibilidad a los tiempos de carga a la cual está sometido el pavimento.
  - A rangos más amplios de temperatura, carga y tensiones, el asfalto mejor su resistencia a la deformación permanente y rotura.

- Su relación con los agregados mejora, debido al poder humectante y adhesión, viéndose reflejado en una gran resistencia mecánica y a la tracción.
  - El fisuramiento se reduce debido al aporte de flexibilidad a rangos bajos de temperaturas de servicio.
  - El aumento en la viscosidad de la mezcla asfáltica, mayor elasticidad y menor tendencia de fluir, afecta en la disminución de la exudación del asfalto.
- ✓ Térmicas
    - Aminora la susceptibilidad térmica.
    - Rebaja la fragilidad a la que se ve sometida a climas bajos y aumenta la cohesión a altas temperaturas.
    - Su comportamiento se adecúa a la temperatura a la que se ve expuesto, dándole un mejor rendimiento a la mezcla asfáltica.
  - ✓ Económicas
    - El costo de implementación de asfaltos modificados es elevado frente al convencional, pero a la larga el mantenimiento periódico de los asfaltos modificados se puede extender a un tiempo mayor que los asfaltos convencionales. además, los pavimentos modificados aumentan la vida útil de la estructura.

### **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

Los términos y dediciones del presente proyecto de tesis corresponden al “Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial”, el manual que rige la Normativa Peruana (Manual de Diseño Geométricos 2018 – DG 2018) y el “Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” – EG 2013.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

CARRETERA: se puede definir una carretera como aquel camino por el cual transitan vehículos motorizados, dichos vehículos, según el Manual DG-2018, deben ser de por lo menos dos ejes; además este camino

debe cumplir con ciertas particularidades geométricas como pendiente longitudinal, transversal, superficie de rodadura, etc. que se adecuen a las normativas vigentes para el MTC.

IMDA: Según el MTC el Índice Medio Diario Anual (IMDA) es un “valor numérico estimado del tráfico vehicular” que se ha tomado en un ramal de alguna red vial en un determinado año.

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

ASTM: Según la EG – 2013 significa American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

NTP: Norma Técnica Peruana.

#### **2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

Probablemente un adecuado planteamiento y estudio del pavimento modificado con polímero será una buena alternativa de solución para que las vías de comunicación de la ciudad de Piura sean más resistentes y, por ende, duraderas.

#### **2.5. VARIABLES E INDICADORES**

Variable Independiente : POLÍMERO MEJORADOR DE ASFALTO

Variable Dependiente : COMPORTAMIENTO DE LOS ASFALTOS

Tabla 05  
Operacionalización de Variable Independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UND	DEFINICIÓN DEL INDICADOR	INSTRUMENTOS
POLÍMERO MEJORADOR DE ASFALTO	Variable independiente que analizará al polímero más adecuado y las cantidades correctas que contendrá un buen diseño de pavimento flexible mejorado.	DEFINICION DEL POLIMERO ADECUADO	Estudios anteriores Comparativo entre los diferentes polímeros. Análisis de características de acuerdo a la zona.		Análisis de los resultados de los diferentes estudios hechos con anterioridad para definir el polímero adecuado a la zona.	Laptop Internet Estudios de referencia
		PROPOCION OPTIMA DEL POLIMERO ADECUADO	Porcentaje de cantidad de polímero.	%	Implica establecer proporciones apropiadas del polímero para el diseño de mezcla.	Recipientes Balanza
		DISEÑO DE LA MEZCLA CON EL POLIMERO	Granulometría Estabilidad Marshall	% cm	Proceso de selección de los ingredientes adecuados y los porcentajes óptimos para la obtención de buenos resultados.	Tamiz Máquina de aplicación de carga Moldes Pisón

Fuente: Elaboración propia

Tabla 06  
Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNID.	DEFINICIÓN DEL INDICADOR	INSTRUMENTOS
COMPORTAMIENTO DE LOS ASFALTOS	Pavimento que encontramos constituido por una carpeta bituminosa de mezcla asfáltica o asfalto que se encuentra apoyada en dos capas, una base y una subbase, dichas capas son no rígidas, lo que proporciona flexibilidad al pavimento	Propiedades físicas y mecánicas.	Color Dureza Durabilidad		Propiedades que ayudarán a definir que el pavimento cuenta con alguna característica que son necesarias para el uso y tiempo de vida útil de la vía.	Granulometría Estudio de Mecánica de Suelos Proctor CBR
		Propiedades físicas y mecánicas del pavimento mejorado.	Color Dureza Consistencia		Propiedades que servirán para observar las alteraciones que sufre la mezcla con la aplicación de polímeros.	
		comparación de costo – beneficio.	Presupuesto Análisis de Costos Unitarios.		Comparación entre los presupuestos de elaboración de una mezcla asfáltica convencional y una mejorada con polímeros.	Software S10

Fuente: Elaboración propia

### III. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA EMPLEADA

#### 3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. Clasificación según el objeto de estudio

La presente investigación es **Aplicada** debido que se centrará en encontrar los mecanismos para lograr el objetivo en concreto, basados en los conocimientos obtenidos a lo largo de la investigación.

##### 3.1.2. Clasificación según el nivel de medición y análisis de la información

La presente investigación es de nivel **Explicativa** porque presenta un análisis completo de acuerdo a la relación directa entre de los pavimentos modificados con la mejora en el comportamiento que tendrán los pavimentos flexibles.

##### 3.1.3. Clasificación según las fuentes de información

La presente investigación es de tipo **Documental** debido a que se centra en la recopilación de información a través de documentos, materiales bibliográficos, repositorios, entre otros. Los cuales son sometidos a un proceso de análisis y crítica.

#### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

##### 3.2.1. Población

Pavimentos modificados con polímeros.

##### 3.2.2. Muestra

Estudios realizados en Piura y regiones cercanas sobre los pavimentos flexibles modificados con polímeros.

#### 3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### Diseño de Contrastación

El diseño elaborado en la presente investigación es de tipo “Descriptivo”, debido a que la misma variable será comparada de acuerdo a los diferentes estudios realizados en la zona a fin de encontrar ventajas, y encontrar el polímero adecuado de acuerdo a las características de la ciudad. Además, esta investigación es Comparativa, Descriptiva Simple, cuyo esquema se representa:

**M<sub>1</sub> ----- O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>**

## **M<sub>2</sub> ----- O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>**

Dónde:

- M<sub>1</sub>: Investigaciones sobre asfaltos modificados con polímeros Elastómeros (dos investigaciones).
- M<sub>2</sub>: Investigaciones sobre asfaltos modificados con polímeros Plastómeros (tres investigaciones).
- O<sub>1,2,3</sub>: Resultados en la estabilidad, flujo, punto de ablandamiento.

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.4.1. Técnica**

La técnica empleada es cualitativa a través de la observación, para así realizar un análisis de resultados, a través de las características de los resultados obtenidos en estudios anteriores realizados en la zona, así conocer las propiedades y sus características

#### **3.4.2. Instrumentos**

- Revisión y análisis de Ensayos de laboratorio
- Revisión literaria y comparativa.
- Revisión de información de productores de polímeros.
- Revisión de información de productores de asfalto.

### **3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Para el procesamiento y análisis de la información, revisaremos la bibliografía determinada a fin de comparar los resultados obtenidos por diferentes tesis en el uso de polímeros, además de adecuarlo a la realidad situacional de Piura, obteniendo e investigando datos y estudios de asfaltos proporcionados por el principal comercializador en el norte, siendo este la refinería de Talara. Utilizaremos el programa Excel para revisión de los cálculos, posteriormente el programa Word para las anotaciones de resultados correspondientes de cada muestra experimentada y finalmente el Software S10 para hacer el cálculo de presupuestos para de esta manera realizar un comparativo de costo – beneficio

entre un pavimento flexible con mezcla asfáltica convencional y un pavimento flexible mejorado con polímeros.

### **3.5.1. Análisis del Cemento Asfáltico**

#### **✓ Análisis de los Cementos Asfálticos en Piura**

Los asfaltos de la localidad de Piura en su mayoría son proporcionados en cantidades industriales por la refinería Talara perteneciente a PetroPerú. De los cuales, a través de portal web proporcionan, a fin de conocimiento de los proyectistas y entidades, las especificaciones técnicas de los diferentes asfaltos comercializados en la región. Entre los asfaltos comercializados por esta refinería se encuentran:

- C.A. PEN 40/50
- C.A. PEN 60/70
- C.A. PEN 85/100
- C.A. PEN 120/150

A fin de garantizar la calidad del producto brindado, los asfaltos clasificados por su penetración se rigen a partir de los siguientes ensayos internacionales y nacionales:

- Norma ASTM D-946
- Norma AASHTO M-20
- Norma NTP.321.061:2014

PetroPerú a través de su portal web recomienda la aplicación de los diferentes cementos asfálticos según el estudio realizado por el Manual del Asfalto – USA y experiencia de aplicación en países de Europa y Sudamérica como se muestra en la tabla 06.

Tabla 07  
 Uso de Cementos Asfálticos Graduados por Penetración en Función del  
 Clima.

Pavimentación	CLIMA				
	Muy cálido	Cálido	Moderado	Frio	Frigido
<b>AEROPUERTOS</b>					
Pistas de despegue	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Caminos auxiliares	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Aparcamientos	60-70	60-70	60-70	85-100	85-100
<b>CARRETERAS</b>					
Tráfico pesado y muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Tráfico medio ligero	40-50	60-70	60-70	85-100	120-150
<b>CALLES</b>					
Tráfico pesado y muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Tráfico medio ligero	40-50	60-70	85-100	85-100	120-150
<b>CAMINOS PARTICULARES</b>					
Industriales	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Comerciales Estac. Serv.	40-50	60-70	60-70	85-100	85-100
Residenciales	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
<b>APARCAMIENTOS</b>					
Industriales	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Comerciales	40-50	60-70	60-70	85-100	85-100
<b>ZONA DE RECREO</b>					
Pista de tenis	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
Terrenos de juego	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
<b>BORDILLOS</b>	40-50	40-50	60-70	85-100	85-100

Fuente: Manual del Asfalto – USA y experiencia de aplicación en países de Europa y Sudamérica.

Siendo de esta tabla el apartado de carreteras el más importante para la presente investigación.

Es de señalar que las especificaciones generales 2013, normativa peruana, señala que el empleo del cemento asfáltico dependerá de las características climáticas de la zona y de la carta de viscosidad, esta normativa nos confiere la tabla 07, donde nos indica lo comentado.

Tabla 08  
 Selección del cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: Portal web PetroPerú

✓ **Análisis de las Condiciones que afectaran a los Cementos Asfálticos en la Región Piura**

En la región de Piura se han definido diversos estudios tanto ambientales como climatológicos, pero es Jaña-Arellano (2016), quien a través de su investigación denominada: “**Implementación de la Guía de Diseño Mecánico - empírico AASHTO 2008 en la Región Piura**”, plantea mejorar el desempeño en funcionamiento del asfalto, por lo tanto, se enfoca en evaluar y definir las condiciones medio-ambientales a las cuales estarán sometidos. Describiendo dentro de los parámetros que afectan el desempeño del pavimento a la humedad, temperatura, viento, precipitación y profundidad del nivel freático como se muestran en la figura 20. Incidiendo en la capacidad de soporte a cargas el porcentaje de humedad del pavimento y de la subrasante.

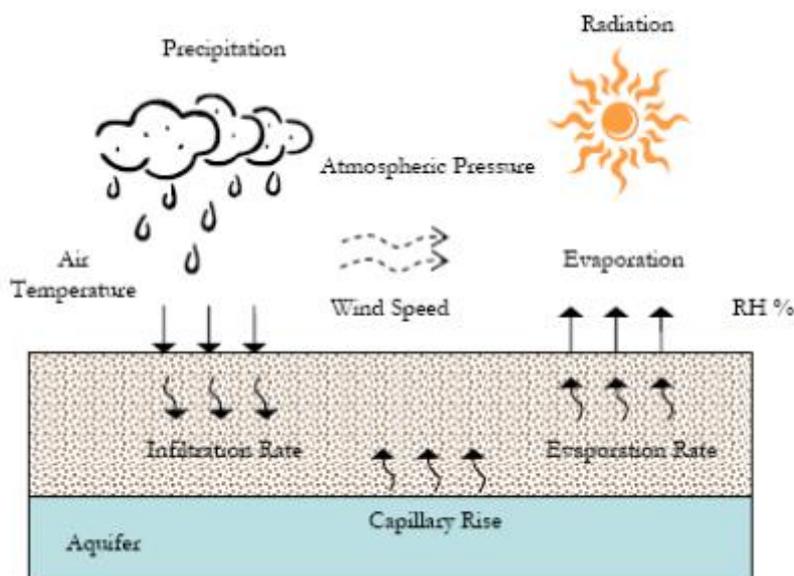


Figura 20: Parámetros Climáticos

Fuente: Quintero, Natalia M., Validation of the enhanced integrated climatic model (EICM) for the Ohio SHRP Test Road At U.S. 23, 2007. (citado por Jaña-Arellano - 2016)

○ **Temperatura**

Debido a la cercanía de la Región Piura con la línea Ecuatorial, se considera un clima cálido durante todo el año siendo su

temperatura promedio de 26°C aproximadamente. El autor hace referencia al estudio de Romero (2012), donde pudo constatar, a través de un estudio de cargas realizado en el 2010, tanto la temperatura ambiental como del pavimento, mostrando horas críticas entre las 13:00 p.m. y 15:00 p.m., tal y como se muestra en la figura 21 y 22. De la cual también es de resaltar que el registro es correspondiente al invierno esperándose un gradiente muy elevado en temporada de verano, además se aprecia las diferentes temperaturas a cierta profundidad en la estructura del pavimento considerando que estas son transferidas, debido a la capacidad conductiva del material, a las capas inferiores al de rodadura y que son mantenidas por un lapso de tiempo, mostrando un incremento de la temperatura superior a 20 mm de profundidad entre las 9:00 a.m. y 16:00 p.m.

Dicha evaluación apreciada en las tablas, muestra temperaturas de la estructura superiores a los 50°C por la información que representa, permitiendo así la elección de un cemento asfáltico de condiciones que cumplan con las temperaturas descritas, evitando así problemas como la deformación permanente o ahuellamiento, comunes en la región Piura.

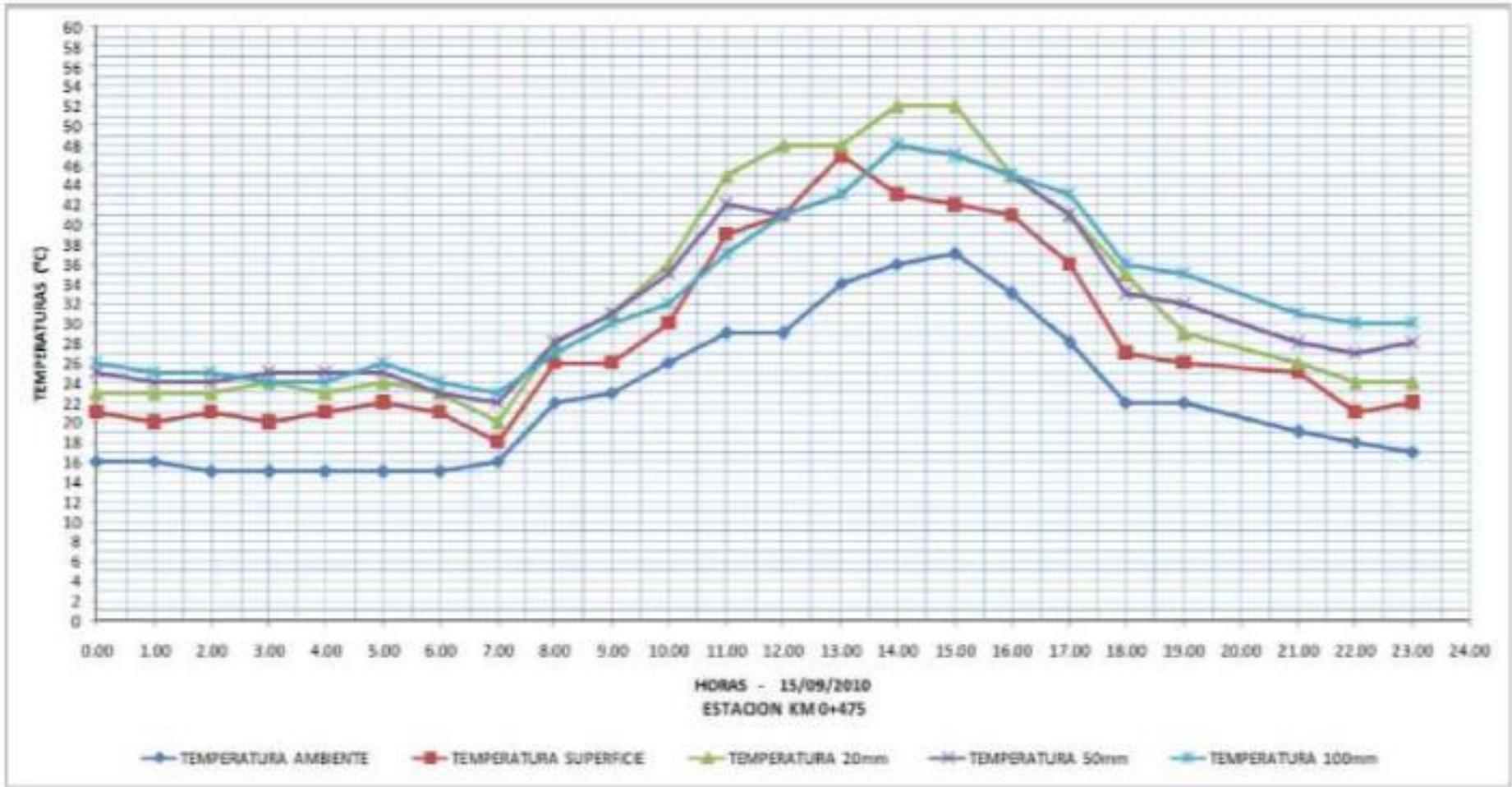


Figura 21: Temperatura del aire, superficial del pavimento y a diferentes profundidades

Fuente: Romero 2012 (citado por Jaña-Arellano - 2016)

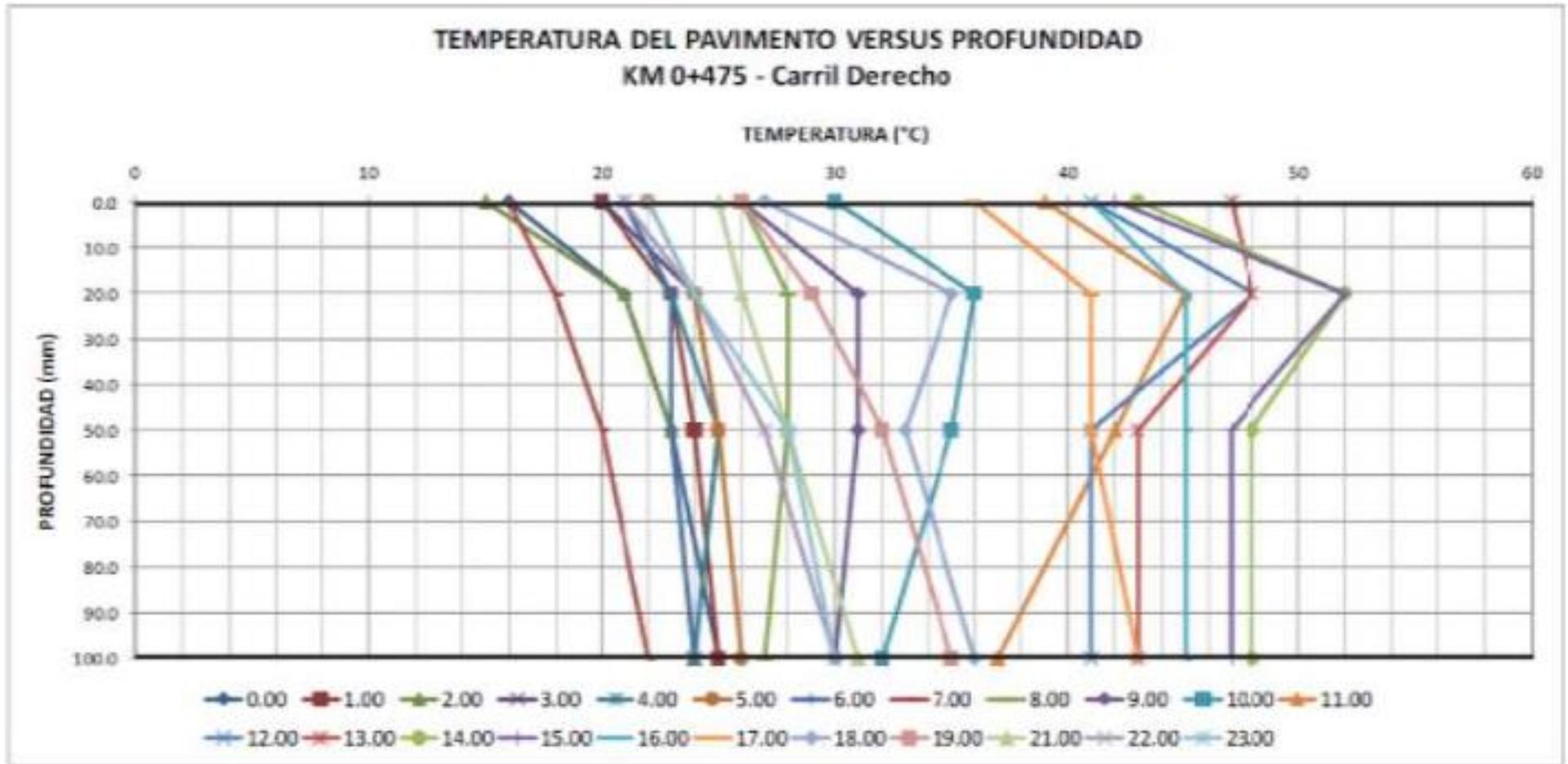


Figura 22: Temperaturas del pavimento a diferentes profundidades obtenidas durante 24 horas, Setiembre del 2010

Fuente: Romero 2012 (citado por Jaña-Arellano – 2016)

Si bien es cierto existe una disparidad climática en la región Piura, pero gracias a las estaciones climatológicas usadas, el autor ha podido elaborar un termograma, el cual se muestra en la figura 23, aquí se muestran las temperaturas mínimas y máximas en el periodo de un mes típico comprendido entre los años 2008 – 2012. En la cual encontramos temperaturas entre 10°C hasta 26°C consideradas mínimas y temperaturas de 24°C hasta 35°C consideradas máximas.

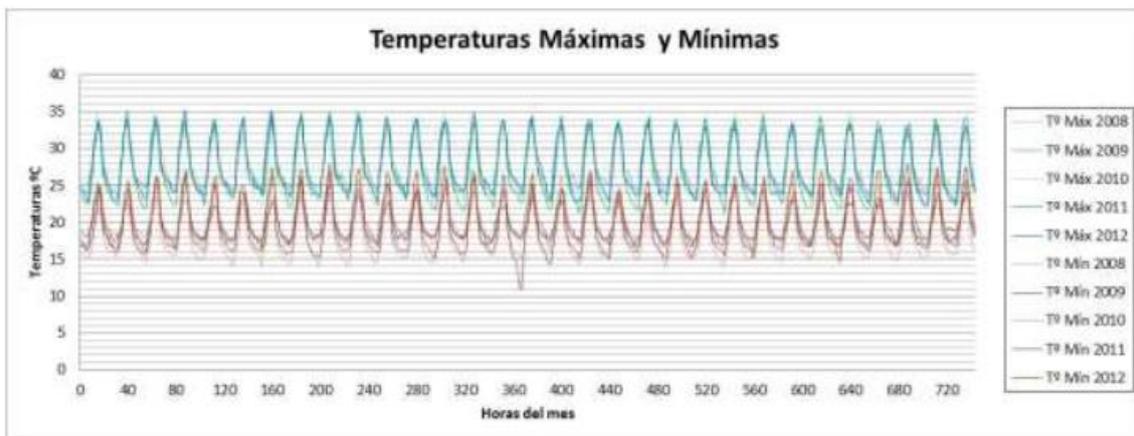


Figura 23: Termograma de temperaturas máximas y mínimas mensuales.

Fuente: Jaña-Arellano – 2016

- Radiación Solar

Para el presente parámetro se estima en la ciudad de Piura a largo del periodo de estudio, que en la máxima radiación 1.4 w/m<sup>2</sup> hay nubosidad de 0%, siendo en sentido inverso cuando la nubosidad está en 100% la radiación es de 0 w/m<sup>2</sup>.

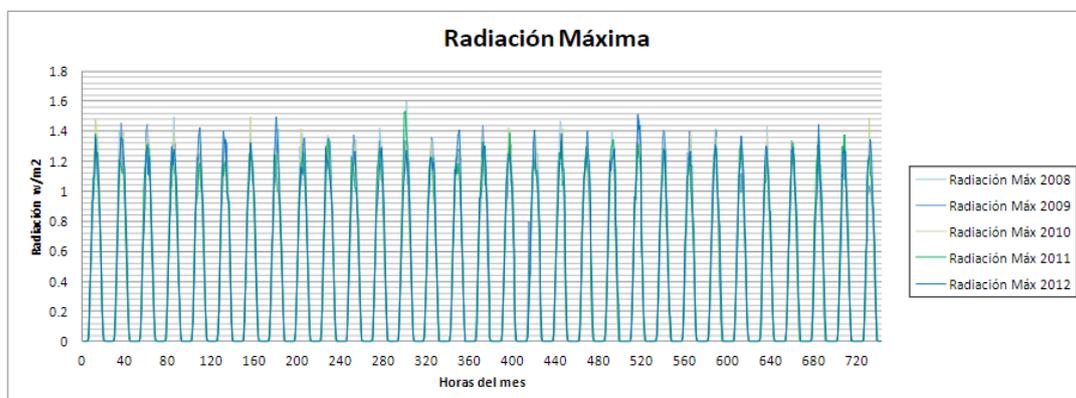


Figura 24: Radiación máxima mensual

Fuente: Jaña-Arellano, 2016

- Viento

Este parámetro influye en la regulación de la temperatura del pavimento y es de principal estimación para el cálculo de la transmisión del calor a través de las capas de la estructura del pavimento, esto de acuerdo a las velocidades que en Piura oscilan entre 0.85 m/s y 8.05 m/s, siendo promedios mínimos y máximos respectivamente.

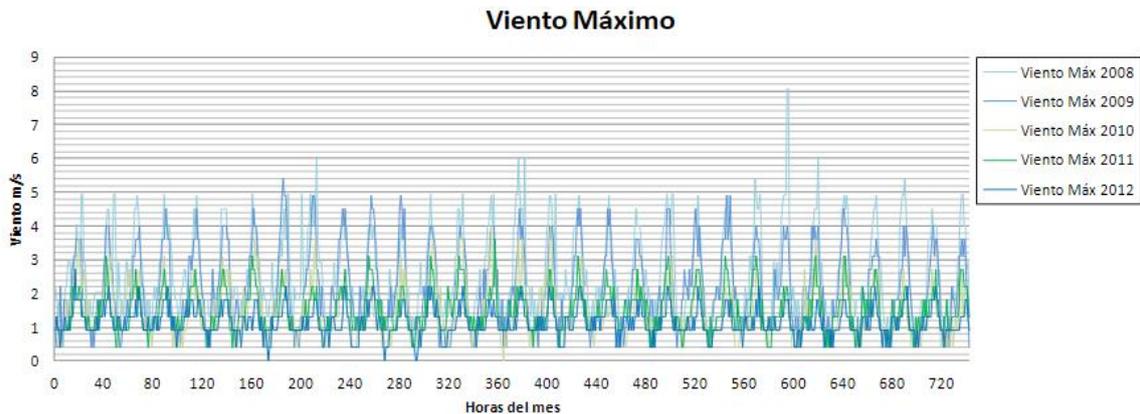


Figura 25: Viento máxima mensual

Fuente: Jaña-Arellano, 2016

- Humedad

El investigador nos refiere que estimar un promedio de humedad en Piura, debido a que este es muy variable según la temporada en la que estemos. A pesar de esto, según la estación de la cual recogió información, nos arroja un promedio del 70% de humedad, siendo este valor obtenido a partir de la figura 26, donde se muestran los registros de humedad en Piura.

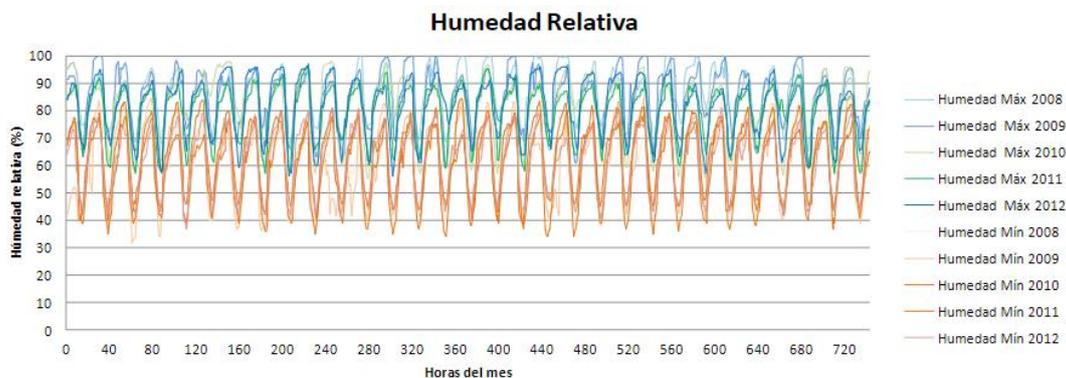


Figura 26: Humedad relativa máxima y mínima en la Región Piura

Fuente: Jaña-Arellano, 2016

- Nivel del Agua Freática

El investigador cita un estudio realizado en conjunto entre la Universidad Nacional de Piura y INDECI, de donde destaca ciertas zonas en las cuales el nivel freático está a 50 centímetros, pero a fines de su investigación promedia una profundidad de napa freática de 6 metros (20 pies), recomendando que para cada proyecto se realice un estudio de prospección para verificar el nivel freático. Además, es de resaltar que el estudio fue realizado antes del fenómeno del niño costero del 2017, por lo tanto, los niveles pueden haberse elevado.

- ✓ **Mezclas Asfálticas en Caliente**

Muchos estudios realizados con la finalidad de mejorar el comportamiento de los asfaltos, determinaron que únicamente un ensayo Marshall no garantizaba obtener una visualización de desempeño del pavimento ya que, durante el ensayo, la compactación que se realiza con el martillo de compactación Marshall no es la misma que se realiza en campo, con los rodillos vibratorios. Esto genera que, a pesar de asemejarse mucho, el desempeño del pavimento en el ensayo no sea el mismo que en campo, debido a esto el Programa de Investigación Estratégico de Carreteras (SHRP) financió muchas investigaciones a fin de relacionar las especificaciones al rendimiento real del pavimento, es de esta manera que establecen el Grado de Desempeño (o Performance - PG), el cual es medido en un rango de temperaturas (máxima y mínima).

Generalmente, la mayoría de asfaltos convencionales tienen un grado de desempeño PG 52-28, 58 – 28 o 64 – 22. Para la ciudad de Piura, el grado de desempeño de los pavimentos debe ser PG 64 – 10, debido a que en promedio las temperaturas de los últimos 20 años (análisis exigido para el grado de desempeño) son altas. Este grado de desempeño significa que el pavimento diseñado será capaz de mantener un comportamiento óptimo a una temperatura máxima de hasta 64°C y a una temperatura mínima de -10°C.

Empresas especializadas en producción y comercialización de asfaltos modificados afirman que: “La adición de polímero en un

asfalto convencional consigue aumentar en todos los casos el grado de PG superior del asfalto, de tal forma que, por ejemplo, de un PG 64, podríamos alcanzar mínimo PG 70”.

Siguiendo con el análisis de la investigación de Jaña-Arellano refiere a los asfaltos como materiales que brindan característica como la impermeabilización, flexibilidad y durabilidad. Además, menciona a la tecnología Superpave, la cual es una herramienta para clasificar a los asfaltos, en donde se considera el clima y las cargas de tráfico, y a partir de ésta se optará por asfaltos que aseguren la durabilidad y mejor desempeño según esta estimación en donde se consideran las temperaturas ambientales más altas y más bajas.

En la Tabla 08 se muestra la clasificación realizada por el principal dotador de asfaltos en el Perú, PetroPerú, según la metodología SUPERPAVE. En donde debemos resaltar que ha sido evaluado con esta tecnología un asfalto que ha sido modificado con polímero tipo SBS, el cual es el principal responsable de aumentar el rango de desempeño a temperaturas mayores.

Tabla 09  
Grado de desempeño según el tipo de asfalto

Asfaltos	PEN 60/70	PEN 85/100	PEN 85/100 Modif. Con SBS
Refinería	Talara		
Grado de Desempeño SUPERPAVE (PG) Norma AASHTO MP-1	64 -23	64 -28	88 -34
Grado de Desempeño SUPERPAVE (PG) Normas AASHTO MP-1A (Temperatura crítica de agrietamiento)	64 -28	-	-
Grado de Desempeño Real (Verdadero) PG	65 -28	61 -32	
Rango de Temperatura de Desempeño, °C	93	92	122

Fuente: Portal web PetroPerú

Por otro lado, el autor también refiere a la información presentada en el congreso de Asfalto realizado en el Perú en el año 2010, de donde cita a Escalante, quien es el ponente del evento, siendo el responsable de analizar y estudiar las estaciones climáticas en todo

el Perú, concluyendo con un mapa, como se muestra en la figura 27. De la cual rescatamos de sus conclusiones que el ligante óptimo para la región Piura es 60-70 con un PG 70-10, resaltando que en tal investigación no se han tenido en cuenta parámetros como la velocidad y el volumen del tráfico.

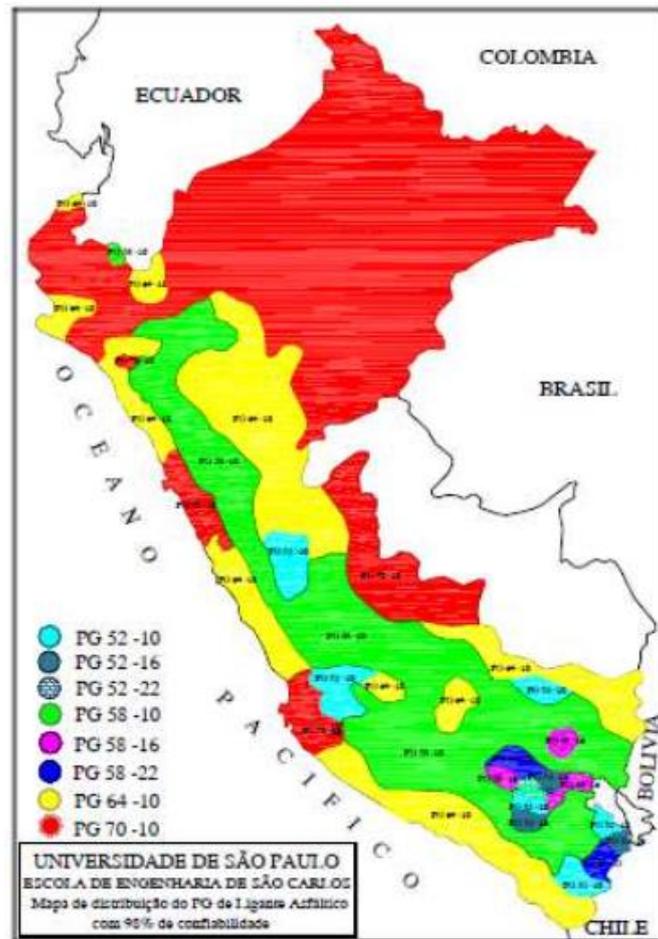


Figura 27: Mapa de distribución del PG en el Perú

Fuente: Escalante, Z., Jorge R., Clasificación de ligantes asfálticos por desempeño para las diferentes regiones del Perú. Artículo congreso de Asfalto Perú 2007.

Es de resaltar que los grados de desempeño determinados por el autor mencionado anteriormente, datan de una fecha a destiempo de la actual, de donde se han inhibido condiciones climáticas como la del fenómeno del niño costero en la ciudad de Piura, aumento de sensación térmica (temperatura y radiación) en los años transcurridos y el crecimiento poblacional conllevando al aumento de volumen de tráfico en las vías de la región Piura. Por lo tanto, a modo de propuesta de investigación, a fin de buscar un grado de desempeño que no se

vea afectado por las condiciones climáticas y de tráfico actuales, se plantea el empleo de asfaltos considerando la zona de implementación por los autores, según los resultados de Jaña-Arellano, a su vez se planteará un grado de desempeño PG 76 -10, de donde se refiere a un asfalto cuyo comportamiento sea eficaz frente a temperaturas máximas de 76°C y mínimas de -10°C. Para poder verificar el cumplimiento de esta recomendación se revisará estudios realizados a ligantes modificados con polímeros, de tal forma que este agente modificante resulte beneficioso y mejorador de las características de un ligante con un grado de desempeño (PG) inferior al propuesto y con puntos de ablandamientos inferiores a la temperatura máxima a las que va a estar expuesto en la región Piura.

### **3.5.2. Análisis de los Asfaltos Modificados con Polímeros**

Los asfaltos modificados con polímeros se realizan con la finalidad de abarcar mayores exigencias en el clima y tráfico, para tales exigencias, los productores de asfaltos modificados con polímeros deberán cumplir con algunos criterios básicos en el diseño y producción del asfalto modificado, a fin de garantizar un correcto diseño y lograr, durante su uso, los estándares exigidos.

#### **Compatibilización de Polímero – Asfalto**

El control de calidad en el proceso de mezclado del polímero con el asfalto debe ser riguroso para asegurar que el grado de dispersión en el asfalto no sea elevado ya que, si el proceso de modificación del asfalto no es el óptimo, existirán zonas de asfalto ricas en polímeros y al mismo tiempo existirán zonas de asfalto pobres en el mismo, lo que implicaría una no uniformidad en la mezcla, que traería consigo diferencias en el comportamiento del pavimento.

El control de la compatibilización polímero – asfalto deberá ser a nivel macro, que consiste en identificar visualmente (mediante observación minuciosa por parte de un encargado) el polímero no disuelto en la modificación del asfalto y encontrar algunos elementos contaminantes y retirarlos de la manera adecuada sin alterar el proceso. De ser posible, se recomienda que se realice un segundo control a nivel

micro, para de esta manera obtener una compatibilización más fina, este control consistirá en la clasificación mediante un microscopio de fluorescencia de varias muestras tomadas, lo que permitirá identificar las claramente el grado de dispersión del polímero en el asfalto.

#### **A. Análisis de los Asfaltos Modificados con Polímeros Elastómeros (SBS)**

**A.1.** Salcedo (2008) en su investigación in situ realizada en el **“Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes”**, plantea el uso del polímero SBS modificando al asfalto. Presentando como problema que en horas pico de temperatura ambiente, el asfalto alcanza un rango de temperatura de entre 47°C – 52°C, por otro lado, comparando este rango con el punto de ablandamiento para el cemento asfáltico convencional utilizado en la costa, PEN 60/70, cuyo punto de ablandamiento según la tabla de especificaciones de PetroPerú es de 46°C, como se muestra en la tabla 09, se puede afirmar que el asfalto a emplear es susceptible al ahuellamiento, siendo de los principales problemas en los pavimentos y que puede evitarse empleando cementos asfálticos adecuados.

Tabla 10  
Especificaciones Técnicas de los Asfaltos

CARACTERÍSTICAS	MÉTODOS DE PRUEBA				C.A. 10-20 PEN (*)		C.A. 20-30 PEN (*)		C.A. 40-50 PEN (*)		C.A. 60-70 PEN		C.A. 85-100 PEN		C.A. 120-150 PEN	
	AASHTO M-20	ASTM D-946	PETRO PERU	NTP	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
PENETRACIÓN a 25°C, 100 gr., 5s, 0.1 mm.	T-49	D-5	D-5	D-5	10	20	20	30	40	50	60	70	85	100	120	150
DUCTILIDAD a 25°C, 5cm./min., cm.	T-51	D-113	D-113	D-113	Reportar		Reportar		100		100		100		100	
VOLATILIDAD																
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	T-48	D-92	D-92	D-92	270		250		232		232		232		218	
Gravedad Específica a 15.6/15.6°C	T-228	D-70	D-70		Reportar		Reportar		Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
FLUIDEZ																
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	T-201	D-2170	D-2170						Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	T-201	D-2170	D-2170		800		500		240		200		170		140	
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % masa	T-44	D-2042	D-2042	D-2042	99		99		99		99		99		99	
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA (NOTA1) Prueba de calentamiento sobre película fina 3.2 mm., 163°C, 5hrs.	T-179	D-1754	D-1754	D-1754												
Pérdida por calentamiento, % masa										0,8		0,8		1		1,3
Penetración retenida, % del original	T-49	D-5	D-5	D-5					55 +		52 +		47 +		42 +	
Ductilidad a 25°C, 5cm./min., cm.	T-51	D-113	D-113	D-113							50		75		100	
Índice de susceptibilidad térmica	Francés RLB								-1,0	+1,0	-1,0	+1,0	-1,0	+1,0	-1,0	+1,0
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C. (NOTA2)	T-53	D-36		D-36					40		46		42		38	
ENSAYO DE LA MANCHA, (NOTA3) Solvente Nafta Estándar Solvente Nafta - Xileno, % Xileno Solvente Heptano - Xileno, % Xileno	T-102								Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
REQUERIMIENTO GENERAL: El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de aplicación de 175°C.																

Fuente: Portal PetroPerú

Salcedo propone que los criterios de diseño para su mezcla asfáltica en caliente con polímeros SBS deberán ser los siguientes:

Tabla 11  
Características del ligante modificado con SBS.

ENSAYO	UND	NORMA	MIN	MAX
Penetración a 25 °C	0.1 mm	MTC E 304	55	70
Punto de ablandamiento-anillo y bola	°C	MTC E 307	60	-
Punto de inflamación	°C	MTC E 303	230	-
Estabilidad de almacenamiento (*)				
<i>Diferencia del punto de ablandamiento</i>	°C	MTC E 307	-	5
<i>Diferencia de penetración</i>	0.1 mm	MTC E 304	-	10
Ductilidad a 5 °C	cm	MTC E 306	15	-
Recuperación elástica torsional a 25 °C	%	NLT-329/91	60	-
Espuma	-	-	No	No
Residuo después de efecto de calor y aire				
<i>Penetración a 25 °C, 100 g, 5 seg</i>	% pen.orig.	MTC E 304	65	-
<i>Variación del peso</i>	% residual	-	-	1
<i>Ductilidad a 5 °C (5 cm/min)</i>	cm	MTC E 306	8	-
<i>Variación del punto de ablandamiento</i>	°C	MTC E 307	-5	10

Fuente: Salcedo, "Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes", Lima 2008.

Tabla 12  
Parámetros de diseño para mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS.

ENSAYOS	NORMA	UND	LIMITE	
			Min.	Max.
Estabilidad Marshall -75 golpes/cara	MTC E504	kgf	700	-
Fluencia Marshall		mm	2.5	4.5
Porcentaje de vacíos Marshall	MTC E505	%	4	-
Relación bitumen/vacíos		%	65	82
Relación filler/bitumen			0.6	1.2
Desgaste Cantabro	MTC E515	%	-	20
Desgaste Cantabro envejecido (1)		%	-	30
Resistencia a la tracción por compresión diametral	AASHTO-283	kpa	600	-
Estabilidad retenida		%	75	-
Variación teórica de bitumen		%	-	0.2

(1) Envejecimiento de la muestra: 7 días (168 horas) a 60 °C

Fuente: Salcedo, "Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes", Lima 2008.

En su investigación, el asfalto sufrió las modificaciones con polímeros SBS con la finalidad de contar con un asfalto más viscoso para las condiciones de temperatura las cuales estará expuesto, reduciendo el riesgo a las deformaciones permanentes (ahuellamiento), aumentar el comportamiento ante la fatiga del pavimento, entre otros como aumentar la adhesividad, cohesión y resistencia al envejecimiento.

El equipo usado, se muestra en el anexo 01, para la dosificación del polímero en el laboratorio consistió en el siguiente:

- Molino coloidal. - es un equipo esencial del laboratorio usado la modificación del asfalto base y la dosificación del polímero a ingresar al asfalto.
- Viscosímetro rotacional. - equipo utilizado para controlar la consistencia que se va obteniendo en el proceso de mezclado del asfalto, determinando la viscosidad y temperatura durante el mezclado y la compactación del asfalto modificado.
- Penetrómetro. – equipo que se utiliza para medir la consistencia que se va obteniendo del asfalto modificado
- Aparato anillo y espera. – equipo utilizado para determinar el punto de ablandamiento del asfalto modificado.
- Equipo adicional para medir la inflamación del asfalto, el ductilómetro, horno para ensayo de película delgada rotativa.

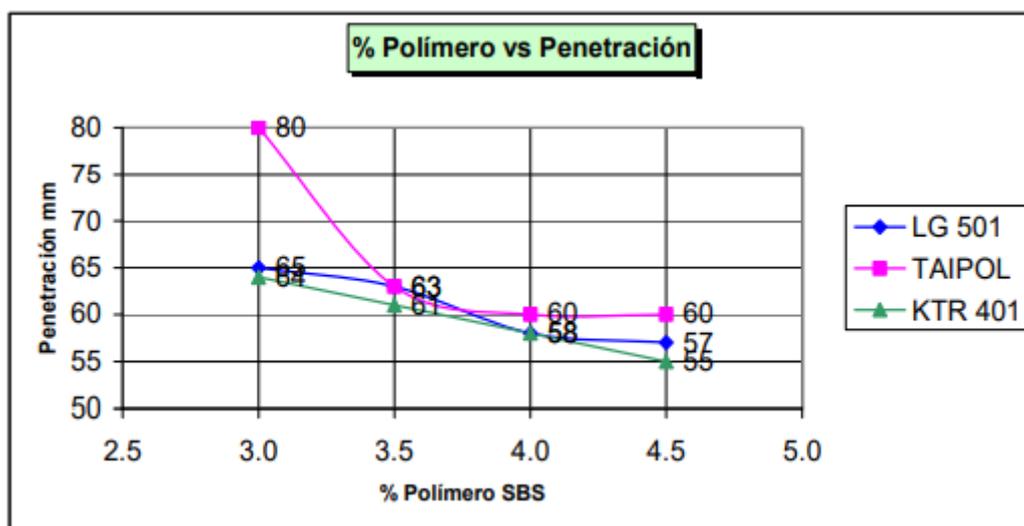
En el laboratorio, se preparan las muestras en el molino piloto de modificación, para esta investigación se usó el asfalto base PEN 85/100, cuya ficha técnica se muestra en el anexo 02. El polímero fue incorporado en 30 minutos aproximadamente cuando el molino ya trabajaba a una velocidad de 3,500 rpm y el asfalto ya se encontraba a 180 °C, dicha temperatura debe mantenerse lo más constante posible para evitar contratiempos. Para conseguir uniformidad en la mezcla polímero – asfalto, se debe ir incorporando gradualmente el polímero durante el mezclado, la dispersión en la investigación concluyo aproximadamente después de 60 minutos luego de hacer un control de compatibilización

visual como se muestra en el anexo 03, el control de fluorescencia microscópica no se realizó debido a cuestiones prácticas y económicas. En el control de compatibilización visual se verificó que no existiesen partículas de polímero no disuelto ni agentes contaminantes.

Seguido de esta evaluación visual, se procede al proceso de selección del porcentaje óptimo de polímero a emplear en el asfalto seleccionado 85/100 de Talara, a fin de obtener los resultados o parámetros de diseños previstos y que se fijan como meta a cumplir en la presente investigación.

En las tablas siguientes se muestra una comparación de resultados realizados en laboratorio por el tesista, donde nos permite observar el empleo de tres tipos de polímero SBS afectando al mismo tipo de asfalto seleccionado y que proviene de la refinería de Talara.

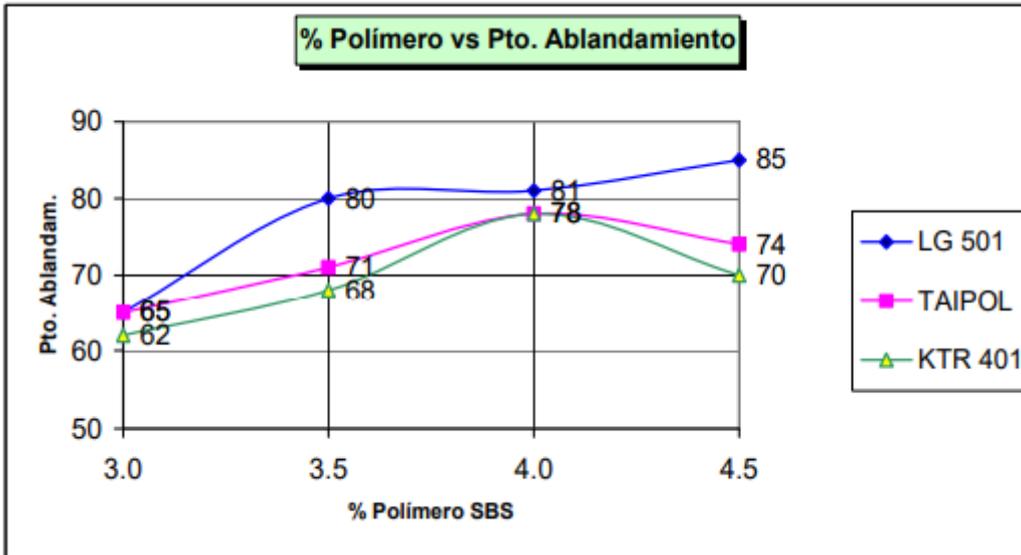
Tabla 13  
Efectos del Polímero en la Penetración



% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	65	80	64
3.5	63	63	61
4.0	58	60	58
4.5	57	60	55

Fuente: Salcedo, "Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes", Lima 2008

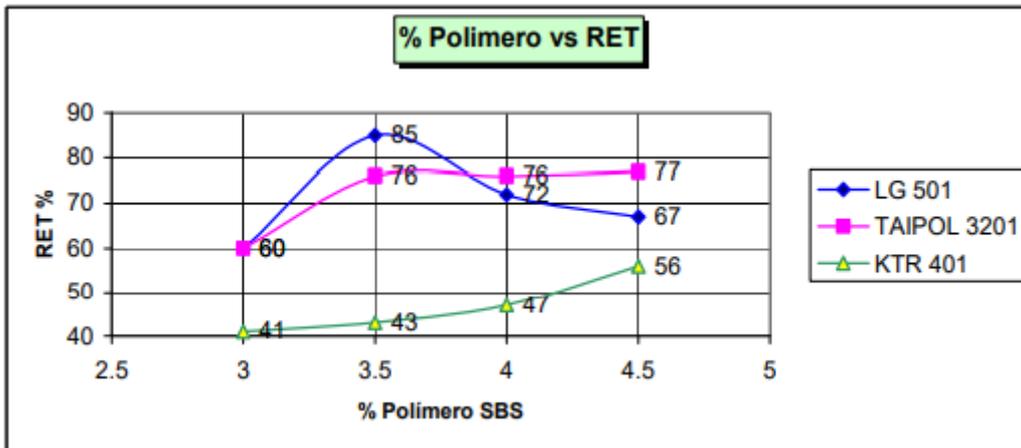
Tabla 14  
Efectos del Polímero en el Punto de Ablandamiento



% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	65	65	62
3.5	80	71	68
4.0	81	78	78
4.5	85	74	70

Fuente: Salcedo, "Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes", Lima 2008

Tabla 15  
Efectos del Polímero en la Recuperación Elástica Torsional



% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3	60	60	41
3.5	85	76	43
4	72	76	47
4.5	67	77	56

Fuente: Salcedo, "Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes", Lima 2008

Para fines de elección del polímero, el autor realiza una comparación técnico-económica con los resultados mostrados en las tablas anteriores, de donde pudo determinar el polímero LG 501 en un contenido del 3.5% del peso del asfalto, por ser el que reúne las condiciones estimadas en la tabla 11 procediendo así a la producción de un asfalto modificado a gran escala.

En una escala industrial, para ejecutar el asfalto modificado con polímeros en campo (para la obra) se adquirió un espacio para una planta que sirva para modificación del asfalto, la cual tenía por rendimiento 1,600 gal/hr. Esta planta contó con los siguientes equipos descritos en el anexo 04:

- Un dispersor recirculador, el cual contaba con un molino coloidal de alto esfuerzo de corte el cual sirvió para reducir el polímero a dimensiones mínimas y de esta manera conseguir una adecuada dispersión en el asfalto base.
- Un tanque bipartido para modificar el asfalto base, cada compartición tuvo un caldero de aceite térmico, una bomba centrífuga, un quemador de 400,000 kcal/hr y cinco alimentados de polímeros, dichos alimentadores funcionaban por gravedad, cinco agitadores de paleta de doble nivel, una bomba de asfalto de 3" de diámetro, serpentín de calefacción y contaban cada uno con aislamiento térmico.
- Un tanque con serpentín de calefacción y aislamiento térmico para almacenar el asfalto previo a la modificación
- Un tanque con caldero de aceite térmico, quemador, bomba centrífuga, serpentín de calefacción y aislamiento térmico para almacenar el asfalto ya modificado.

Previamente al proceso de modificación del asfalto en campo (a una escala industrial) se debe comprobar que el asfalto base con el que se trabaja está en óptimas condiciones y que se cuenta con las cantidades correctas para la modificación, el asfalto se calentó hasta llegar a una temperatura de 180 a 185°C, en momento pudo alcanzar hasta los 190°C pero se recomienda mantenerlo en los

rangos ya expuestos para evitar contratiempos. Se incorporó el polímero en las cantidades preestablecidas en los alimentadores de polímeros que trabajan a gravedad, a una velocidad entre 20 y 25 kg/minuto para de esta manera llevar un control más exacto. El proceso de dispersión del polímero en el asfalto se realiza por recirculación, en el cual es el encargado el molino coloidal de alto esfuerzo y este proceso duro aproximadamente 5 horas para llegar a obtener una homogenización en la mezcla, en todo el proceso el asfalto se mantuvo a una temperatura de 180 – 185°C. Luego se procede a hacer un control de compatibilización visual en el cual se verificó que no existiesen partículas de polímero no disuelto ni agentes contaminantes.

Finalmente, por ser un proceso en campo, al momento de la culminación del proceso de modificación del asfalto, se extraen muestras para verificar en laboratorio que se cumpla con las características establecidas. Para esto se realiza un ensayo de penetración y una medición de viscosidad.

En la investigación de Salcedo, el ensayo de penetración para el asfalto modificado con polímeros resulta en promedio 60 x 0.1 mm, mientras que el mismo ensayo, para el asfalto base (PEN 85/100) es de 91 x 0.1 mm, lo que implica que la aplicación de polímeros en el asfalto para su modificación genere un incremento en la dureza con respecto al asfalto base. Este resultado representa un incremento del 51% en su dureza.

El punto de ablandamiento que se obtuvo en su asfalto modificado fue a los 70°C, en cambio el punto de ablandamiento de un asfalto convencional proveniente de la refinería de Talara es de 50°C, dicho resultado implica un incremento del 40% en el punto de ablandamiento de lo cual se puede concluir que el asfalto modificado tendrá un comportamiento más rígido.

Finalmente, dentro de los resultados de su investigación, tenemos que la recuperación elástica del asfalto modificado es del 80%,

mientras que, en un asfalto convencional, la recuperación elástica (tomando en cuenta un asfalto de la refinería de Talara) está entre el 8 y 13 %, lo cual significa que existe un incremento del 515%. En consecuencia, el asfalto modificado con polímeros tendrá un mejor comportamiento ante la fatiga.

Tabla 16  
Características del asfalto modificado producido en el laboratorio

ENSAYOS	UND	NORMA	MEDIDO	ESPECIFIC	
				Min.	Max.
Penetración (25 °c, 100g, 5s)	0,1 mm	MTC E304	<b>64</b>	55	70
Punto de ablandamiento	°C	MTC E307	<b>78</b>	60	--
Punto de inflamación	°C	MTC E312	<b>340</b>	230	--
Peso específico, 25°C/25°C	gr/cc	MTC E318	<b>1.020</b>	--	--
Estabilidad de almacenamiento(*)					
<i>Diferencia punto de ablandamto.</i>	°C	MTC E307	--	--	5
<i>Diferencia de penetración</i>	mm	MTC E304	--	--	10
Viscosidad a 170 °C (1)	poise	ASTM D4402	<b>2.6</b>	--	--
Ductilidad a 5 °C	cm	MTC E306	<b>70</b>	15	--
Recuperación elástica torsional	%	NLT - 329/91	<b>74</b>	60	--
Espuma	Visual		<b>NO</b>	NO	NO
<b>RESIDUO DESPUES DEL EFECTO DE CALOR Y AIRE</b>					
<i>Penetración (25 °c, 100g, 5s)</i>	% Pen.Orig.	MTC E304	<b>77</b>	65	--
<i>Variación del peso</i>	% Resid.		<b>0.139</b>	--	1
<i>Ductilidad a 5 °C (5cm/min)</i>	cm	MTC E306	<b>9.3</b>	8	--
<i>Variación punto de ablandamto.</i>	°C	MTC E307	<b>+1.5</b>	-5	10

(\*) No se exigirá este requisito cuando los elementos de transporte y almacenamiento están provistos de un sistema de homogenización adecuado. Debe presentar un aspecto homogéneo, sin espuma ni agua

Fuente: Salcedo, "Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes", Lima 2008

Tabla 17  
Características del asfalto modificado producido en campo.

ENSAYOS	UND	NORMA	MEDIDO (1)	ESPECIFIC.	
				Min.	Max.
Penetración (25 °c, 100g, 5s)	0,1 mm	MTC E 304	<b>60</b>	55	70
Punto de ablandamiento	°C	MTC E307	<b>70</b>	60	--
Punto de inflamación	°C	MTC E312	<b>341</b>	230	--
Peso específico, 25°C/25°C	gr/cc	MTC E318	<b>1.020</b>	--	--
Estabilidad de almacenamiento(*)					
<i>Diferencia punto de ablandamiento</i>	°C	MTC E307	--	--	--
<i>Diferencia de penetración</i>	mm	MTC E304	--	--	--
Viscosidad a 170 °C (1)	poise	ASTM D4402	<b>2.8</b>	--	--
Ductilidad a 5 °C	cm	MTC E306	<b>62</b>	15	--
Recuperación elástica torsional	%	NLT - 329/91	<b>80</b>	60	--
Espuma	Visual	--	<b>NO</b>	NO	NO
<b>RESIDUO DESPUES DEL EFECTO DE CALOR Y AIRE</b>					
<i>Penetración (25 °c, 100g, 5s)</i>	% Pen. Or.	MTC E 304	<b>74</b>	65	--
<i>Variación del peso</i>	% Resid.		<b>0.01</b>	--	1
<i>Ductilidad a 5 °C (5cm/min)</i>	cm	MTC E 306	<b>17.2</b>	8	--
<i>Variación punto de ablandamiento</i>	°C	MTC E 307	<b>+ 6.8</b>	-5	10

(1) Promedio de ensayos a 103 batch de asfalto modificado fabricado en obra (7,500 galones cada batch)..

Fuente: Salcedo, "Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes",  
Lima 2008

Del diseño de la mezcla asfáltica en caliente, el tesista opta por el método Marshall a fin de clasificarlo y compararlo según los criterios que rige la normativa peruana. Por lo tanto, se procedió a la selección adecuada de la granulometría de la mezcla, de acuerdo a las propuestas de huso que establece la normativa peruana. En la siguiente tabla se muestra los resultados del estudio Marshall realizado a la mezcla modificada, de donde es factible comentar que se realizó para un tipo de tráfico entre liviano y pesado, correspondiente a 75 golpes. Mostrando una mejora considerable en la estabilidad de la mezcla asfáltica, dependiendo básicamente de esta característica la resistencia que puede aportar la mezcla a cargas elevadas de tránsito y tiempos bajo tensión a los que está sometido el asfalto, siendo esta capacidad relacionada con el flujo, ambos conjuntamente vinculados con la resistencia de la mezcla frente a deformaciones permanentes o ahuellamiento.

Tabla 18  
Diseño de mezcla con Marshall de asfaltos modificados

ENSAYOS	NORMA	UND	PROPIEDADES MEDIDAS Y CALCULADAS	CRITERIOS ESPECIFICADOS	
				Min.	Max.
Peso unitario		--	<b>2.32</b>	--	--
Optimo contenido de asfalto		--	<b>6.30%</b>	--	--
No de golpes-compactación		--	<b>75</b>	--	--
Estabilidad Marshall-75 golpc/cara	MTC E 504	Kgf	<b>1740</b>	700	--
Fluencia Marshall		mm	<b>3.8</b>	2.5	4.5
Porcentaje de vacíos - Marshall	MTC E 505	%	<b>4.7</b>	4%	--
Relación bitumen x vacíos		%	<b>79.3</b>	65%	82%
Relación filler x bitumen		--	<b>1.08</b>	0.6	1.2
Desgaste Cantabro	MTC E 515	%	<b>7.28</b>	--	20%
Desgaste Cantabro envejecido (1)		%	<b>14</b>	--	30%
Estabilidad retenida		%	<b>90</b>	75%	--
Variación teórico de bitumen		%	<b>0.2</b>	--	0.20%
Mínimo vacíos agre. mineral (3/8")		--	<b>17.2</b>	16.2	

Fuente: Salcedo, "Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes", Lima 2008.

**A.2.** En un estudio realizado en Lambayeque por Infante y Vásquez (2016) denominado **“Estudio Comparativo del Método Convencional y uso de los Polímeros EVA y SBS en la Aplicación de Mezclas Asfálticas”**, determinan el asfalto base tomando como referencia la normativa peruana C.E.010 Pavimentos Urbanos, en la cual especifica la tabla 18 sirviendo como guía de diseño para los proyectos, garantizando de una u otra forma el buen comportamiento de los asfaltos para las condiciones descritas en la tabla referenciada.

Tabla 19  
Rangos de Penetración según la temperatura

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

Fuente: Tabla B1 materiales para Pavimento Norma CE.010.

A partir de esta referencia los tesisistas optaron por un asfalto PEN 60/70, dado que Lambayeque reúne las condiciones de temperatura media anual del aire entre  $7^{\circ}\text{C}$  y  $24^{\circ}\text{C}$ .

Los investigadores a fin de estudiar el porcentaje óptimo del polímero a emplear, procedieron a la elaboración de briquetas con cantidades determinadas de polímero, las cuales se describen en la siguiente tabla 19, 20, 21:

Tabla 20  
Proporciones 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>		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>		58.80 g.
<b>POLÍMERO SBS:</b>	2.00 %	1.20 g.
<b>TOTAL</b>		60.00 g.

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</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>		58.20 g.
<b>POLÍMERO SBS:</b>	3.00 %	1.80 g.
<b>TOTAL</b>		60.00 g.

Fuente: Infante y Vásquez (2016)

Tabla 21  
Proporciones por cada porcentaje de polímero SBS

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</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.
<b>TOTAL</b>		60.00 g.

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</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.
<b>TOTAL</b>		60.00 g.

Fuente: Infante y Vásquez (2016)

Tabla 22  
Proporciones por cada porcentaje de polímero SBS

<b>PESO DE LAS MUESTRAS PARA MEZCLADO:</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>		56.40 g.
<b>POLÍMERO SBS:</b>	6.00 %	3.60 g.
<b>TOTAL</b>		60.00 g.

Fuente: Infante y Vásquez (2016)

Teniendo detallados las cantidades de materiales, los tesisas plantean evaluar briquetas a través del método Marshall,

considerando que para tránsitos livianos y pesados se proponen porcentajes de polímero SBS de 5% y 4% respectivamente.

A continuación, se evaluó para un tránsito liviano y pesado, como se muestra en las tablas siguientes, de donde apreciamos que al ser comparados los resultados obtenidos del ensayo Marshall, se denota una mejora en la estabilidad en 138.83% para el caso del tránsito liviano. Siendo igual de significativo el porcentaje de mejora para el tránsito pesado incrementando en un 53.20% su estabilidad. Para ambas evaluaciones el flujo dentro de los rangos que estipula la normativa, además es de resaltar que los porcentajes de mejora son con respecto a la evaluación de estabilidad de un asfalto convencional.

Tabla 23  
Estabilidad y flujo convencional en tráfico 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	
						<b>Promedio</b>	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	
						<b>Promedio</b>	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	
						<b>Promedio</b>	2.31	2.25	4.22	10.78	58.45	1241.08	1.02	1266.38	7.67

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 24  
Estabilidad y flujo convencional en tráfico 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
<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: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 25  
Estabilidad y flujo para tránsito liviano.

 <b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b> 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 POLIMEROS 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 ATAU RIMA 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	2.80	323	65.0	0.963	1114.21	1073	OK
4.2	5.0 %	5.0 %	513.61	10	2.50	394	64.9	0.965	1357.66	1310	OK
4.3	5.0 %	5.0 %	515.12	9	2.30	437	64.6	0.973	1505.10	1464	OK
PROMEDIO			515.54	10.00	2.53	384.67	64.82	0.97	1325.66	1283	OK

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 26  
Resumen de resultados diseño Marshall con Polímero 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>

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 27  
Estabilidad y flujo para tránsito pesado.



**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 ATAU RIMA 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
<b>PROMEDIO</b>			<b>507.73</b>	<b>10.67</b>	<b>2.70</b>	<b>546.00</b>	<b>63.74</b>	<b>0.99</b>	<b>1877.60</b>	<b>1869</b>	<b>OK</b>

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 28  
Resumen de resultados diseño Marshall con Polímero 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	1187.32	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>

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

De los resultados obtenidos podemos apreciar que:

- En cuanto a los resultados de Marshall para tráfico liviano, denotamos que la influencia del polímero SBS incide directamente con la estabilidad, siendo este valor para asfalto modificado con polímero SBS en contenido de 5% de 1283 kg, mientras que los valores de esta propiedad para el asfalto convencional es 536.75 kg.
- En cuanto a los resultados de Marshall para tráfico pesado, denotamos que la influencia del polímero SBS incide directamente con la estabilidad, pero en menor proporción si lo comparamos con el tráfico liviano, siendo este valor para asfalto modificado con polímero SBS en contenido de 4% de 1869 kg, mientras que los valores de esta propiedad para el asfalto convencional es 1219.96 kg.

Para ambos casos analizados, dicho aumento de esta propiedad incide en el flujo de la mezcla, ya que esta se encuentra dentro del rango estipulado por la normativa peruana, pero presentando mejoras en los resultados frente a los asfaltos convencionales, los cuales se muestran en la tabla 28.

Tabla 29  
Requisitos de mezcla de concreto bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
<b>Inmersión – Compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 2013)

Finalmente, de esta investigación obtenemos un asfalto 60/70 modificado con SBS cuyas características incrementan positivamente las propiedades de los asfaltos convencionales, pudiendo nosotros destacar la estabilidad y flujo, éstas están directamente vinculadas con la resistencia a cargas y deformación permanente. Dichas propiedades representan una situación ventajosa si comparamos a lo convencional.

**B. Análisis de los Asfaltos Modificados con Polímeros Plastómeros (EVA y PET)**

**B.1.** En una investigación realizada en Lambayeque por Infante y Vásquez (2016) denominada “**Estudio Comparativo del Método Convencional y uso de los Polímeros EVA y SBS en la Aplicación de Mezclas Asfálticas**”, determinan el asfalto base tomando como referencia la normativa peruana C.E.010 Pavimentos Urbanos, en la cual especifica la tabla 28 sirviendo como guía de diseño para los proyectos, garantizando de una u otra forma el buen comportamiento de los asfaltos para las condiciones descritas en la tabla referenciada.

Tabla 30  
Rangos de Penetración según la temperatura

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

Fuente: Tabla B1 materiales para Pavimento Norma CE.010.

A partir de esta referencia los tesisistas optaron por un asfalto PEN 60/70, dado que Lambayeque reúne las condiciones de temperatura media anual del aire entre  $7^{\circ}\text{C}$  y  $24^{\circ}\text{C}$ .

Los investigadores a fin de estudiar el porcentaje óptimo del polímero a emplear, procedieron a la elaboración de briquetas con

cantidades determinadas de polímero, las cuales se describen en las siguientes tablas 30, 31, 32, 33, 34:

Tabla 31  
Proporciones 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>		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-EVA	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>		58.66 g.
<b>POLÍMERO EVA:</b>	2.00 %	1.20 g.
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	0.24 %	0.14 g.
<b>TOTAL</b>		60.00 g.

Fuente: Infante y Vásquez (2016)

Tabla 32  
Proporciones 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>		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-EVA	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>		57.98 g.
<b>POLÍMERO EVA:</b>	3.00 %	1.80 g.
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	0.36 %	0.22 g.
<b>TOTAL</b>		60.00 g.

Fuente: Infante y Vásquez (2016)

Tabla 33  
 Proporciones 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>		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-EVA	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>		57.31 g.
<b>POLÍMERO EVA:</b>	4.00 %	2.40 g.
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	0.48 %	0.29 g.
TOTAL		60.00 g.

Fuente: Infante y Vásquez (2016)

Tabla 34  
 Proporciones 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>		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-EVA	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>		56.64 g.
<b>POLÍMERO EVA:</b>	5.00 %	3.00 g.
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	0.60 %	0.36 g.
TOTAL		60.00 g.

Fuente: Infante y Vásquez (2016)

Tabla 35  
 Proporciones 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>		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-EVA	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>		55.97 g.
<b>POLÍMERO EVA:</b>	6.00 %	3.60 g.
<b>ÁCIDO FOSFÓRICO:</b>	0.72 %	0.43 g.
<b>TOTAL</b>		60.00 g.

Fuente: Infante y Vásquez (2016)

Teniendo detallados las cantidades de materiales, los tesisas plantean evaluar briquetas a través del método Marshall, considerando que para tránsitos livianos y pesados se proponen porcentajes de polímero EVA de 4% y 3% respectivamente.

A continuación, se evalúa para un tránsito liviano y pesado, como se muestra en las tablas siguientes, de donde apreciamos que al ser comparados los resultados obtenidos del ensayo Marshall, se denota una mejora en la estabilidad en 150.54% para el caso del tránsito liviano. Siendo igual de significativo el porcentaje de mejora para el tránsito pesado incrementando en un 17.34% su estabilidad. Para ambas evaluaciones el flujo dentro de los rangos que estipula la normativa, además es de resaltar que los porcentajes de mejora son con respecto a la evaluación de estabilidad de un asfalto convencional.

Tabla 36  
Estabilidad y flujo convencional en tráfico 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	
						<b>Promedio</b>	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	
						<b>Promedio</b>	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	
						<b>Promedio</b>	2.31	2.25	4.22	10.78	58.45	1241.08	1.02	1266.38	7.67

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 37  
Estabilidad y flujo convencional en tráfico 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
<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: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 38  
Estabilidad y flujo para tránsito liviano.

 <b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b> 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 ATATURIMA 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
PROMEDIO			488.12	9.67	2.43	391.33	63.62	1.00	1349.83	1345	OK

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 39  
Resumen de resultados diseño Marshall con 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>

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 40  
Estabilidad y flujo para tránsito pesado.

 <b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b> 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 ATAIRIMA 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

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

Tabla 41  
Resumen de resultados diseño Marshall con 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>Promedio</b>						<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>

Fuente: Infante y Vásquez (2016).

De los resultados obtenidos podemos apreciar que:

- En cuanto a los resultados de Marshall para tráfico liviano, denotamos que la influencia del polímero EVA incide directamente con la estabilidad, siendo este valor para asfalto modificado con polímero EVA en contenido de 4% de 1345 kg, mientras que los valores de esta propiedad para el asfalto convencional es 536.75 kg.
- En cuanto a los resultados de Marshall para tráfico pesado, denotamos que la influencia del polímero EVA incide directamente con la estabilidad, pero en menor proporción si lo comparamos con el tráfico liviano, siendo este valor para asfalto modificado con polímero EVA en contenido de 3% de 1432 kg, mientras que los valores de esta propiedad para el asfalto convencional es 1219.96 kg.

Para ambos casos analizados, dicho aumento de esta propiedad incide en el flujo de la mezcla, ya que esta se encuentra dentro del rango estipulado por la normativa peruana presentando mejoras tenues, los cuales se muestran en la tabla 40.

Tabla 42  
Requisitos de mezcla de concreto bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
<b>Inmersión – Compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 2013)

Finalmente, de esta investigación obtenemos un asfalto 60/70 modificado con EVA cuyas características incrementan positivamente las propiedades de los asfaltos convencionales, pudiendo nosotros destacar la estabilidad y flujo, éstas están directamente vinculadas con la resistencia a cargas y deformación permanente. Dichas propiedades representan una situación ventajosa si comparamos a lo convencional.

**B.2.** En la investigación de Navarro del año 2017 denominada **“Propuesta De Diseño De Mezclas Asfálticas Con Adiciones De PET”** afirma que los ensayos y resultados obtenidos en los mismos no son los óptimos ni esperados, después de esta premisa, se puede concluir que el polímero PET (Partículas de Plástico Reciclado) no es apto para ser utilizado en un diseño de mezclas asfálticas para tránsito pesado.

Después de realizar el ensayo MARSHALL, tomando un molde o testigo formando tres capas para luego dar golpes con un mazo metálico de 1.5 m, para su caso de su ensayo se tomaron 50 golpes, para ambos lados el cual sería 100 golpes. Al referirse a 50 golpes se da a entender que el análisis de dicho ensayo es para Tráfico Liviano, esto según las especificaciones. De dicho ensayo se obtuvo un Factor de Estabilidad de 10.25 KN (Especificación la ESTABILIDAD Mínima es 5.34 KN) y el Flujo de 540 Kg (Especificación Flujo 544 Kg) por lo que concluye que el uso del PET, se limita para el Diseño de Mezclas Asfálticas para Pavimentos de Tránsitos Livianos (taxis, moto taxis), Pasajes, Calles Secundarias, entre otros. Ya que la Mezcla con PET aumenta su volumen, pero reduce su Estabilidad y Flujo, para un determinado Uso.

Se recalca que estos ensayos fueron realizados tomando porcentajes de asfalto entre 4.5% a 6%, luego se encontrarse en estado líquido después de ser calentado se procedió a añadir el Poliéster PET pero en un porcentaje entre 0.3% y 0.5% ya que al a llegar a 1%, el asfalto adquiere una consistencia más sólida y

rápidamente se forman grumos, perdiendo de esta manera textura y propiedades. Lo ideal para el proceso de modificación de asfalto con este tipo de polímeros será (según la investigación de Navarro) ingresar el PET y amasarlo una manera manual teniendo en cuenta que la temperatura deberá mantener en 160°C durante este proceso que aproximadamente duró 1.5 horas, tiempo durante el cual se debe controlar dicha temperatura con un termómetro asfáltico. Además, para el proceso de curado, se deberá utilizar un aditivo para curado adherente, en el caso de la investigación se utilizó el QUIMIBOND SUIZA, con la finalidad de mejorar el rendimiento de la mezcla.

Todo este proceso se vuelve tedioso y poco práctico para realizar en campo, además que para un ensayo Marshall para tráfico pesado, la aplicación de polímero PET no funciona debido a los porcentajes de los materiales que deben ingresar en la mezcla, que, al ser más, se producen los problemas antes expuestos (el asfalto se solidifica y pierde textura).

**B.3. En un estudio realizado por Corbacho en el 2019 denominado “Análisis de la Estabilidad Marshall y la Deformación Permanente mediante el Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo de una Mezcla Asfáltica Modificada en caliente con Fibras de Tereftalato de Polietileno reciclado en la Ciudad del Cusco-2018”, en el cual plantea analizar el empleo de fibras de Polietileno Tereftalato (PET) en mezclas asfálticas, siendo este utilizado como un sustituto parcial del agregado fino y cumpliendo con los parámetros adecuados que rige la normativa peruana Especificaciones Generales – 2013 aplicables a los agregados finos, siendo en este caso la gradación MAC-2 la determinada por el investigador.**

Definida la línea en la investigación a seguir, el ponente plantea analizar el diseño a través de la metodología Marshall y mediante la rueda de Hamburgo, mostrándose este último en el anexo 06, a fines de obtener valores como la estabilidad, flujo y resistencia a la deformación permanente.

El tesista sigue la línea que recomienda el ministerio de transportes y comunicaciones, el cual determina que para fines de diseño de mezcla se evaluarán tres especímenes por cada variación del ligante, variando en incrementos de 0.5%. Siguiendo esta misma recomendación el autor opta por evaluar las proporciones en 3 especímenes por cada proporción de fibras PET, las cuales se muestran en la tabla --, que son las siguientes: 0.2%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.5%, 1.7%, 2%, 4%.

El proceso de sustitución de agregado fino por fibras PET, se realizó para fines de ensayo con el método Marshall. Dichas implementaciones de polímeros fueron realizadas con la misma granulometría, agregados y contenido de asfalto PEN 120/150 determinados para una mezcla convencional.

Tabla 43  
Sustitución parcial del agregado fino por fibras PET

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje de los componentes dentro de la mezcla asfáltica modificada</b>										
Piedra Chancada 1/2" (%)	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	<b>36.00</b>	36.00	36.00	36.00	36.00
Arena Chancada (%)	32.90	32.80	32.75	32.70	32.60	32.50	<b>32.40</b>	32.25	32.15	32.00	31.00
Arena fina natural (%)	30.90	30.80	30.75	30.70	30.60	30.50	<b>30.40</b>	30.25	30.15	30.00	29.00
Fibras PET (%)	0.20	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00	<b>1.20</b>	1.50	1.70	2.00	4.00

Fuente: Corbacho, 2019.

Del diseño de Mezcla asfáltica empleada, como ya se mencionó anteriormente el autor optó por el método Marshall, simulando un tráfico de volumen alto.

Para la producción de la mezcla asfáltica modificada, se formuló de la misma forma que una mezcla convencional, calentando los agregados incluido el polímero a una temperatura de 10°C superior a la temperatura de mezcla requerida mezclando los agregados con el ligante hasta alcanzar la uniformidad. Acto seguido se procede a compactar la briqueta con 75 golpes en cada cara en el aparato Marshall, esperando un tiempo de 24 horas hasta que

alcancen una consistencia adecuada y una temperatura ambiente para extraer los especímenes moldeados.

Obtenidas las briquetas el método Marshall establece el ensayo de estabilidad – fluencia comparadas según el porcentaje de polímero a adiciona, tal y como se muestra en la figura 28 y figura 29, para el cual las briquetas son calentadas a 60°C durante 30 min para ser derivadas a la prensa Marshall.

<b>%PET</b>	<b>Estabilidad (kg)</b>
0.2	1016.3
0.4	933.3
0.5	899.1
0.6	891.3
0.8	915.5
1.0	870.2
1.2	856.3
1.5	826.0
1.7	722.3
2.0	670.3
4.0	613.5

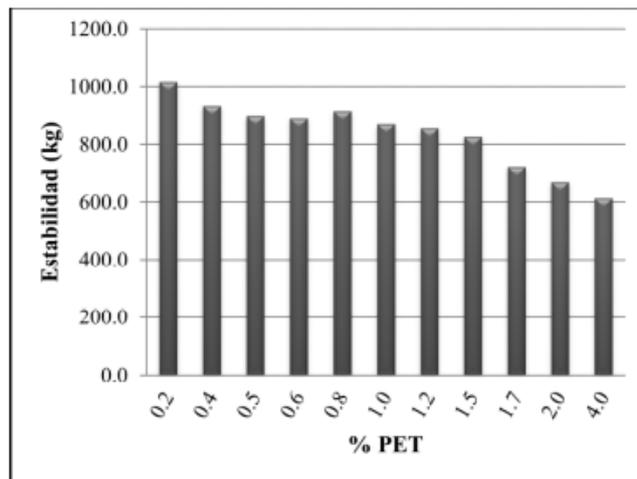


Figura 28: Análisis de resultados %PET vs Estabilidad

Fuente: Corbacho, 2019.

<b>%PET</b>	<b>Flujo (0.01")</b>
0.2	13.0
0.4	13.3
0.5	13.7
0.6	14.0
0.8	14.3
1.0	14.3
1.2	14.7
1.5	15.0
1.7	15.7
2.0	16.0
4.0	19.3

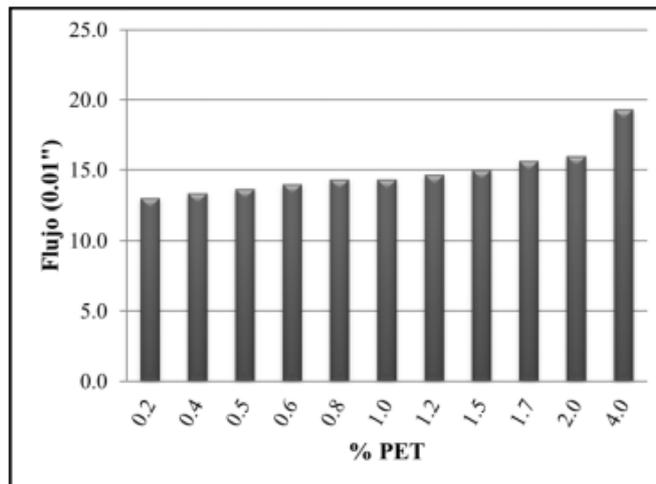


Figura 29: Análisis de resultados %PET vs Estabilidad

Fuente: Corbacho, 2019.

Además, el ensayo Marshall determina otras propiedades de la mezcla asfáltica modificada a diseñar como se muestra en la tabla 43 y 44, las cuales se presentan a continuación.

Tabla 44  
Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada Parte 1

Nº DE BRIQUETAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	% de PET	0.20			0.40			0.50			0.60			0.80			1.00		
2	% de C.A. en Peso de la Mezcla Total	6.15			6.15			6.15			6.15			6.15			6.15		
3	% Agregado Grueso 1/2"	36.00			36.00			36.00			36.00			36.00			36.00		
4	% Arena Triturada	32.90			32.80			32.75			32.70			32.60			32.50		
5	% de Arena Natural	30.90			30.80			30.75			30.70			30.60			30.50		
6	Peso específico del cemento asfáltico (gr/cm3)	1.065			1.065			1.065			1.065			1.065			1.065		
7	Peso específico del Agregado Grueso (1/2) (gr/cm3)	2.609			2.609			2.609			2.609			2.609			2.609		
8	Peso específico de Arena Triturada (gr/cm3)	2.600			2.600			2.600			2.600			2.600			2.600		
9	Peso específico de Arena Natural (gr/cm3)	2.600			2.600			2.600			2.600			2.600			2.600		
10	Peso específico PET (gr/cm3)	1.390			1.390			1.390			1.390			1.390			1.390		
11	Altura promedio de la Briqueta (cm)	5.95	6.18		6.18	6.00	5.93	6.19	6.30	6.31	6.00	5.98	6.20	6.40	6.18	5.95	6.15	5.95	6.25
12	Peso de la Briqueta al aire (gr)	1156.0	1178.0	1186.0	1175.0	1157.0	1174.0	1170.0	1177.0	1174.0	1180.0	1128.0	1171.0	1210.0	1137.0	1155.0	1170.0	1177.0	1174.0
13	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1157.0	1179.0	1188.0	1176.0	1159.0	1176.0	1172.0	1178.0	1176.0	1181.0	1130.0	1172.0	1211.0	1138.0	1156.0	1172.0	1178.0	1176.0
14	Peso de la briqueta sumergida en el agua (gr)	665.0	678.0	685.0	675.0	665.0	675.0	672.0	674.0	674.0	676.0	647.0	669.0	691.0	650.0	659.0	664.0	668.0	666.0
15	Peso volumen agua / volumen Briqueta (gr)	492.0	501.0	503.0	501.0	494.0	501.0	500.0	504.0	502.0	505.0	483.0	503.0	520.0	488.0	497.0	508.0	510.0	510.0
16	Peso de agua absorbida (gr)	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0
17	Absorción (%)	0.20	0.20	0.40	0.20	0.40	0.40	0.40	0.20	0.40	0.20	0.41	0.20	0.19	0.20	0.20	0.39	0.20	0.39
18	Peso específico bulk de la briqueta (gr/cm3)	2.350	2.351	2.358	2.345	2.342	2.343	2.340	2.335	2.339	2.337	2.335	2.328	2.327	2.330	2.324	2.303	2.308	2.302
19	Peso específico bulk de la briqueta (gr/cm3) - Promedio		2.353			2.344			2.338			2.333			2.327			2.304	
20	Peso específico máximo de la mezcla - RICE		2.430			2.425			2.425			2.423			2.421			2.417	
21	Vacios en Mezcla (%)	3.3	3.2	3.0	3.3	3.4	3.4	3.5	3.7	3.6	3.6	3.6	3.9	3.9	3.8	4.0	4.7	4.5	4.8
22	Vacios en Mezcla (%) - Promedio		3.172			3.358			3.588			3.700			3.886			4.662	
23	Peso específico Bulk del agregado total (gr/cm3)		2.599			2.594			2.592			2.590			2.585			2.581	
24	V.M.A. (%)	15.1	15.1	14.8	15.2	15.3	15.2	15.3	15.4	15.3	15.3	15.4	15.6	15.5	15.4	15.6	16.2	16.1	16.3
25	V.M.A. promedio		15.0			15.2			15.3			15.4			15.5			16.2	
26	Vacios llenados con C.A. (%)	78.2	78.5	80.0	78.3	77.6	77.9	77.0	76.1	76.8	76.7	76.5	74.9	75.0	75.6	74.4	71.0	71.9	70.8
27	Vacios llenado con C.A. (%) - Promedio		78.9			77.9			76.6			76.0			75.0			71.2	
28	Flujo (0.01")	13.0	13.0	13.0	14.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	15.0	14.0	14.0	15.0	14.0
29	Flujo (Cm)	0.33	0.33	0.33	0.36	0.33	0.33	0.33	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.38	0.36	0.36	0.38	0.36
30	Flujo (Cm) - Promedio		13.0			13.3			13.7			14.0			14.3			14.3	
31	Estabilidad sin corregir (lbf)	188.0	185.0	184.0	185.0	185.0	182.0	176.0	174.0	172.0	173.0	173.0	174.0	169.0	170.0	168.0	168.0	170.0	166.0
32	Factor de estabilidad	1.15	1.05	1.16	1.03	1.03	1.04	1.06	1.05	1.03	1.04	1.03	1.06	1.02	1.13	1.15	1.06	1.05	1.03
33	Estabilidad corregida (lbf)	2323.6	2102.0	2295.8	2060.0	2055.3	2057.4	2032.7	1984.3	1929.5	1957.3	1936.4	2001.2	1876.9	2081.3	2096.5	1946.7	1941.9	1867.1
34	Estabilidad corregida (lbf) - promedio		2240.48			2057.56			1982.16			1964.97			2018.26			1918.57	
35	Estabilidad corregida (Kgf) - promedio		1016.26			933.29			899.09			891.29			915.46			870.24	
36	Estabilidad corregida (KN) - promedio		9.97			9.15			8.82			8.74			8.98			8.53	
37	Estabilidad / Fluencia (Kgf/cm)	3077.7	3077.7	3077.7	2624.5	2826.4	2826.4	2722.9	2528.4	2528.4	2506.4	2506.4	2506.4	2574.4	2402.8	2574.4	2447.3	2284.1	2447.3
38	Estabilidad / Fluencia (Kgf/cm) - promedio		3078			2759			2593			2506			2517			2393	
39	CV% Estabilidad		4.40			0.09			2.13			1.37			4.96			1.90	
40	CV% Flujo		0.00			3.54			3.45			0.00			3.29			3.29	

Fuente: Corbacho, 2019.

Tabla 45  
Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada Parte 2

	N° DE BRIQUETAS			19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	% de PET				1.20			1.50			1.70			2.00				4.00
2	% de C.A. en Peso de la Mezcla Total				6.15			6.15			6.15			6.15				6.15
3	% Agregado Grueso 1/2"				36.00			36.00			36.00			36.00				36.00
4	% Arena Triturada				32.40			32.25			32.15			32.00				31.00
5	% de Arena Natural				30.40			30.25			30.15			30.00				29.00
6	Peso específico del cemento asfáltico (gr/cm3)				1.065			1.065			1.065			1.065				1.065
7	Peso específico del Agregado Grueso (1/2) (gr/cm3)				2.609			2.609			2.609			2.609				2.609
8	Peso específico de Arena Triturada (gr/cm3)				2.600			2.600			2.600			2.600				2.600
9	Peso específico de Arena Natural (gr/cm3)				2.600			2.600			2.600			2.600				2.600
10	Peso específico PET (gr/cm3)				1.390			1.390			1.390			1.390				1.390
11	Altura promedio de la Briqueta (cm)			6.14	6.16	6.15	6.25	6.23	6.41	6.25	6.23	6.41	6.11	6.16	6.23	6.19	6.24	6.13
12	Peso de la briqueta al aire (gr)			1180.0	1128.0	1171.0	1180.0	1128.0	1171.0	1157.0	1158.0	1166.0	1210.0	1137.0	1155.0	1210.0	1137.0	1155.0
13	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)			1181.0	1130.0	1172.0	1181.0	1130.0	1172.0	1163.0	1161.0	1169.0	1211.0	1138.0	1156.0	1211.0	1138.0	1156.0
14	Peso de la briqueta sumergida en el agua (gr)			667.0	639.0	663.0	664.0	638.0	660.0	657.0	654.0	661.0	682.0	642.0	653.0	684.0	644.0	654.0
15	Peso volumen agua / volumen Briqueta (gr)			514.0	491.0	509.0	517.0	492.0	512.0	506.0	507.0	508.0	529.0	496.0	503.0	527.0	494.0	502.0
16	Peso de agua absorbida (gr)			1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	6.0	3.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
17	Absorción (%)			0.19	0.41	0.20	0.19	0.41	0.20	1.19	0.59	0.59	0.19	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20
18	Peso específico bulk de la briqueta (gr/cm3)			2.296	2.297	2.301	2.282	2.293	2.287	2.287	2.284	2.295	2.287	2.292	2.296	2.296	2.302	2.301
19	Peso específico bulk de la briqueta (gr/cm3) - Promedio				2.298			2.287			2.289			2.292				2.299
20	Peso específico máximo de la mezcla - RICE				2.415			2.411			2.408			2.406				2.399
21	Vacíos en Mezcla (%)			4.9	4.9	4.7	5.3	4.9	5.1	5.0	5.1	4.7	4.9	4.7	4.6	4.3	4.1	4.1
22	Vacíos en Mezcla (%) - Promedio				4.849			5.127			4.958			4.740				4.149
23	Peso específico Bulk del agregado total (gr/cm3)				2.576			2.570			2.565			2.559				2.516
24	V.M.A. (%)			16.4	16.3	16.2	16.6	16.3	16.5	16.3	16.4	16.0	16.1	15.9	15.8	14.3	14.1	14.2
25	V.M.A. promedio				16.3			16.5			16.3			15.9				14.2
26	Vacíos llenados con C.A. (%)			69.8	70.1	70.7	67.9	69.8	68.8	69.1	68.7	70.8	69.4	70.3	71.1	70.1	71.3	71.1
27	Vacíos llenados con C.A. (%) - Promedio				70.2			68.9			69.5			70.3				70.8
28	Flujo (0.01")			14.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	16.0	16.0	15.0	15.0	17.0	16.0	18.0	21.0	19.0
29	Flujo (Cm)			0.36	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.41	0.41	0.38	0.38	0.43	0.41	0.46	0.53	0.48
30	Flujo (Cm) - Promedio				14.7			15.0			15.7			16.0				19.3
31	Estabilidad sin corregir (lbf)			166.0	165.0	167.0	161.0	160.0	158.0	140.0	144.0	130.0	120.0	121.0	120.0	97.0	119.0	110.0
32	Factor de estabilidad			1.04	1.03	1.06	1.04	1.03	1.06	1.04	1.03	1.06	1.02	1.13	1.15	1.02	1.13	1.15
33	Estabilidad corregida (lbf)			1883.8	1853.3	1926.4	1831.3	1801.4	1830.1	1610.8	1635.4	1530.7	1373.5	1522.0	1537.7	1137.2	1499.1	1421.3
34	Estabilidad corregida (lbf) - promedio				1887.84			1820.96			1592.30			1477.74				1352.56
35	Estabilidad corregida (Kgf) - promedio				856.31			825.97			722.25			670.29				613.51
36	Estabilidad corregida (KN) - promedio				8.40			8.10			7.08			6.57				6.02
37	Estabilidad / Fluencia (Kgf/cm)			5297.6	4864.4	5056.1	2167.9	2167.9	2167.9	1777.2	1777.2	1895.7	1759.3	1552.3	1649.3	1341.9	1150.2	1271.3
38	Estabilidad / Fluencia (Kgf/cm) - promedio				5073			2168			1817			1654				1254
39	CV% Estabilidad				1.59			0.76			2.81			5.01				11.50
40	CV% Flujo				3.21			0.00			3.01			5.10				6.45

Fuente: Corbacho, 2019.

De estos resultados obtenidos por el tesista, concluye que el contenido de PET que mejor se adapta a los requerimientos de la norma EG-2013, es el de 1.2%, sustituyendo en este contenido a los agregados finos de la mezcla a diseñar.

Siguiendo con el análisis de la mezcla asfáltica, los resultados del comportamiento de la mezcla frente al ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo se muestran en la tabla 45.

Tabla 46  
Resultados del ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo

<b>Parámetros</b>	<b>Mezcla asfáltica convencional</b>	<b>Mezcla asfáltica modificada</b>
Densidad Máxima Teórica (gr/cm <sup>3</sup> )	2.436	2.415
Contenido de asfalto (%)	6.15	6.15
Vacios (%)	7.3	7.5
# Pasadas alcanzadas	6166	7660
Profundidad de huella (mm)	12.50	12.50

Fuente: Corbacho, 2019

Finalmente, se realiza un análisis de los requisitos especificados en la EG-2013 con los resultados obtenidos en esta investigación. En el método Marshall se establecen los requisitos mostrados en la tabla 46, de los cuales a partir del número de golpes se determinarán los límites permisibles.

Tala 47  
Requisitos del Método Marshall

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Min.		

Fuente: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

Siguiendo estas expectativas de diseño el autor con el diseño de la mezcla asfáltica modificada y con un óptimo en contenido de polímero de 1.2%, muestra resultados favorables los cuales se muestran en la tabla 47.

Tabla 48  
Resultados de la mezcla asfáltica modificada

Parámetros	Requisitos	Resultados	Validación
% C. óptimo de asfalto	6.15	6.15	Si cumple
% C. óptimo de fibras PET	-----	1.2	Si cumple
% Vacíos en mezcla	3 - 5	4.85	Si cumple
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	2.298	Si cumple
% Vacíos en el agregado mineral (VMA)	15 min	16.3	Si cumple
% Vacíos llenos con asfalto (VFA)	65 - 75	70.2	Si cumple
Flujo (0.25mm)	8 - 14	14.7	Si cumple
Estabilidad (kg)	830.05 min	856.3	Si cumple

Fuente: Corbacho, 2019.

De los resultados obtenidos se muestra que el porcentaje óptimo de asfalto en una mezcla convencional es de 6.15%, la cual e mantuvo como constante en el diseño de la mezcla asfáltica

modificada, con el contenido óptimo de PET en 1.2%, obteniendo una estabilidad de 856.3 kg y un flujo de 14.7 (0.25mm). Para efectos de esta investigación la estabilidad de diseño de la mezcla asfáltica modificada disminuye un 9.6 % en comparación a la mezcla asfáltica convencional. El flujo obtenido de diseño en la mezcla asfáltica modificada se incrementa mínimamente en 6.52% en comparación de la mezcla convencional. El valor flujo se incrementa debido al efecto que produce las fibras PET, elevando las características plásticas y de deformación de la mezcla asfáltica modificada.

En el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo, no existe normativa peruana que especifique los requisitos para este ensayo, por tal los valores obtenidos son comparados con los establecidos por la norma AASHTO T-324, como se muestra en la tabla 48. Aquí se denota que la muestra a ensayar debe alcanzar las 20000 pasadas de la rueda con un máximo de ahuellamiento de 12.5mm.

Tabla 49  
Resultados de Rueda Cargada de Hamburgo

<b>Parámetros</b>	<b>Mezcla asfáltica convencional</b>	<b>Mezcla asfáltica modificada</b>
Densidad Máxima Teórica (gr/cm <sup>3</sup> )	2.436	2.415
Contenido de asfalto (%)	6.15	6.15
Vacios (%)	7.3	7.5
# Pasadas alcanzadas	6166	7660
Profundidad de huella (mm)	12.50	12.50

Fuente: Corbacho, 2019.

La muestra de mezcla asfáltica convencional soportó 6166 pasadas, mientras la muestra de mezcla asfáltica modificada con fibras PET soportó 7660 pasadas, bajo las condiciones de una temperatura de 50°C y sumergida en agua. La mezcla asfáltica modificada con fibras PET incrementó la resistencia a la deformación permanente en 24%, en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

### 3.5.3. Comparativo Costo Beneficio

Después de hacer un análisis entre diferentes investigaciones, se ha realizado un análisis de costos unitarios de una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros que se ve reflejado en la tabla 50 y un análisis de costos unitarios de una mezcla asfáltica en caliente convencional que se ve reflejado en la tabla 51.

El uso de un asfalto modificado con polímero para conformar mezclas asfálticas tiene un incremento en el costo del 22% como se muestra en las tablas 50 y 51.

Tabla 50

Análisis de costo unitario de una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros

Partida	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLIMEROS						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 300.0000	EQ. 300.0000	Costo unitario directo por : m3			464.29
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	2.7500	0.0733	22.95	1.68	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0533	18.16	0.97	
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0800	16.39	1.31	
							<b>3.96</b>
<b>Materiales</b>							
0201040001	PETROLEO D-2	gal		3.5820	9.50	34.03	
0201050006	ASFALTO MODIFICADO	gal		28.6800	9.80	281.06	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.6080	72.03	43.79	
0207020001	ARENA	m3		0.9156	52.54	48.11	
0207020002	FILLER	kg		65.0620	0.40	26.02	
02222200010010	ADITIVO MORLIFE 500	kg		0.9156	10.00	9.16	
							<b>442.17</b>
<b>Equipos</b>							
0301000020	QUEMADOR	hm	1.0013	0.0267	100.00	2.67	
0301080007	GENERADOR 400 KW	hm	1.0013	0.0267	70.00	1.87	
0301160001	CARGADOR FRONTAL	hm	1.0013	0.0267	160.00	4.27	
0301390003	PLANTA PARA ASFALTO	hm	1.0013	0.0267	350.00	9.35	
							<b>18.16</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51  
Análisis de costo unitario de una mezcla asfáltica en caliente convencional

Partida	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 340.0000	EQ. 340.0000			Costo unitario directo por : m3	381.71
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO		hh	2.7500	0.0647	22.95	1.48
0101010004	OFICIAL		hh	2.0000	0.0471	18.16	0.86
0101010005	PEON		hh	3.0000	0.0706	16.39	1.16
<b>3.50</b>							
<b>Materiales</b>							
0201040001	PETROLEO D-2		gal		3.5820	9.50	34.03
02010500010006	ASFALTO PEN 60-70		gal		28.6800	7.01	201.05
0207010001	PIEDRA CHANCADA		m3		0.6080	72.03	43.79
0207020001	ARENA		m3		0.9156	52.54	48.11
0207020002	FILLER		kg		65.0620	0.40	26.02
02222200010010	ADITIVO MORLIFE 500		kg		0.9156	10.00	9.16
<b>362.16</b>							
<b>Equipos</b>							
0301000020	QUEMADOR		hm	1.0013	0.0236	100.00	2.36
0301080007	GENERADOR 400 KW		hm	1.0013	0.0236	70.00	1.65
0301160001	CARGADOR FRONTAL		hm	1.0013	0.0236	160.00	3.78
0301390003	PLANTA PARA ASFALTO		hm	1.0030	0.0236	350.00	8.26
<b>16.05</b>							

Fuente: Elaboración Propia

El presente análisis de precios unitarios se ha tenido en cuenta precios vigentes de la zona de Piura y que los rendimientos difieren entre sí, debido a que, según el análisis de nuestra investigación, la aplicación de polímeros en la mezcla asfáltica trae consigo una baja en el rendimiento frente a la realización de una mezcla asfáltica convencional debido a que el periodo de batido del asfalto debe ser un poco más extenso para lograr uniformizar la mezcla en conjunto con el polímero. Todas las cantidades de los insumos y equipos utilizados para el análisis de costos unitarios han sido obtenidas después de analizar y compatibilizar las diferentes investigaciones estudiadas.

Según las ventajas que se describen a continuación, se puede concluir que una vía con pavimento asfáltico mejorado con polímeros necesitará un mantenimiento tipo recapeo en aproximadamente 15 años y no en 10 años como es con un pavimento flexible convencional.

- ✓ Aminora la susceptibilidad a los tiempos de carga a la cual está sometido el pavimento, es decir, tiene una mejor recuperación elástica con respecto a un pavimento flexible convencional.
- ✓ El fisuramiento se reduce debido al aporte de flexibilidad a rangos bajos de temperaturas de servicio.

- ✓ El polímero tiene características humectantes y adhesivas, lo que trae consigo una mejora en la relación entre agregados y asfalto.
- ✓ Mejora en la resistencia mecánica del pavimento y resistencia a la tracción.
- ✓ Mejor elasticidad en la mezcla asfáltica.

Esto significa que una mezcla asfáltica en caliente mejorada con polímeros que tiene un costo de 22% (1.22 veces su costo) adicional tendrá una duración de vida útil de 1.5 veces frente a una mezcla asfáltica en caliente convencional; esto nos deja como resultado un comparativo de 1.22 veces el costo frente a 1.5 veces de vida útil.

#### **IV. CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

##### **4.1. Análisis e interpretación de resultados**

Después de haber realizado la evaluación de proyectos en los cuales los polímeros han sido la clave para mejorar el comportamiento reológico, así como las propiedades del pavimento asfáltico, pudimos obtener datos de ensayos en donde a través de metodologías es demostrado que los polímeros influyen de forma positiva en los asfaltos comerciales que por el lugar geográfico donde estamos son encontrados en venta industrial en la refinería Talara. A continuación, se muestra a detalle los resultados obtenidos, así como su comparación de las propuestas de observación.

##### **4.1.1. De los Asfaltos Modificados con Polímero Elastómeros (SBS)**

- En la primera de las investigaciones analizadas, obtenemos que el ensayo de penetración para el asfalto modificado con polímeros resulta en promedio 60 x 0.1 mm, mientras que el mismo ensayo, para el asfalto convencional (PEN 85/100) es de 91 x 0.1 mm, esto significa que la aplicación de polímeros en el asfalto para su modificación genera un incremento en la dureza con respecto al asfalto base. Este resultado representa un incremento del 51% en su dureza.

El punto de ablandamiento que se obtuvo en su asfalto modificado fue a los 70°C, en cambio el punto de ablandamiento de un asfalto convencional proveniente de la refinería de Talara es de 50°C,

dicho resultado implica un incremento del 40% en el punto de ablandamiento de lo cual se puede concluir que el asfalto modificado tendrá un comportamiento más rígido.

Finalmente, tenemos que la recuperación elástica del asfalto modificado es del 80%, mientras que, en un asfalto convencional, la recuperación elástica (tomando en cuenta un asfalto de la refinería de Talara) está entre el 8 y 13 %, lo cual significa que existe un incremento del 515%. En consecuencia, el asfalto modificado con polímeros tendrá un mejor comportamiento ante la fatiga.

- En la segunda investigación analizada observamos que, en cuanto a los resultados de Marshall para tráfico liviano, la influencia del polímero SBS incide directamente con la estabilidad, siendo este valor para asfalto modificado con polímero SBS en contenido de 5% de 1283 kg, mientras que los valores de esta propiedad para el asfalto convencional es 536.75 kg. Además, en cuanto a los resultados de Marshall para tráfico pesado, observamos que la influencia del polímero SBS incide directamente con la estabilidad, pero en menor proporción si lo comparamos con el tráfico liviano, siendo este valor para asfalto modificado con polímero SBS en contenido de 4% de 1869 kg, mientras que los valores de esta propiedad para el asfalto convencional es 1219.96 kg.

#### **4.1.2. De los Asfaltos Modificados con Polímeros Plastómeros (EVA y PET)**

- En la primera investigación analizada observamos que, en cuanto a los resultados de Marshall para tráfico liviano, denotamos que la influencia del polímero EVA incide directamente con la estabilidad, siendo este valor para asfalto modificado con polímero EVA en contenido de 4% de 1345 kg, mientras que los valores de esta propiedad para el asfalto convencional es 536.75 kg. Además, en cuanto a los resultados de Marshall para tráfico pesado, denotamos que la influencia del polímero EVA incide directamente con la estabilidad, pero en menor proporción si lo comparamos con el tráfico liviano, siendo este valor para asfalto modificado con

polímero EVA en contenido de 3% de 1432 kg, mientras que los valores de esta propiedad para el asfalto convencional es 1219.96 kg.

De esta investigación obtenemos un asfalto 60/70 modificado con EVA cuyas características incrementan positivamente las propiedades de los asfaltos convencionales, pudiendo nosotros destacar la estabilidad y flujo, además, dichos resultados, se encuentran dentro del rango estipulado por la normativa peruana presentando

- En la segunda investigación analizada de asfaltos modificados con polímeros plastómeros, en primer polímero analizado fue el PET, y el autor nos indica que de dicho ensayo se obtuvo un Factor de Estabilidad de 10.25 KN cuando en una mezcla convencional es 5.34 KN, en esta propiedad se puede observar una mejora. El Flujo obtenido del ensayo es de 540 Kg cuando en una mezcla convencional el Flujo 544 Kg por lo que concluye que el uso del PET, se limita para el Diseño de Mezclas Asfálticas para Pavimentos de Tránsitos Livianos (taxis, moto taxis), Pasajes, Calles Secundarias, entre otros. Ya que la Mezcla con PET aumenta su volumen, pero reduce su Estabilidad y Flujo, para un determinado Uso. De la misma investigación podemos observar que para el proceso de curado, se utilizó un aditivo para curado adherente, en el caso de la investigación se utilizó el QUIMIBOND SUIZA, con la finalidad de mejorar el rendimiento de la mezcla y el proceso de mezclado fue tedioso y poco práctico, lo que hace complicado su realización en campo, además que para un ensayo Marshall para tráfico pesado, la aplicación de polímero PET no funciona debido a los porcentajes de los materiales que deben ingresar en la mezcla, que, al ser más, se producen los problemas de que el asfalto se solidifica y pierde textura.
- En la tercera investigación analizada de asfaltos modificados con polímeros plastómeros, en polímero plastómero fue también el PET y se muestra que el porcentaje óptimo de asfalto en una mezcla convencional es de 6.15%, la cual se mantuvo como constante en

el diseño de la mezcla asfáltica modificada, con el contenido óptimo de PET en 1.2%, obteniendo una estabilidad de 856.3 kg y un flujo de 14.7 (0.25mm). Para efectos de la investigación, la estabilidad de diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímero PET disminuye un 9.6 % en comparación a la mezcla asfáltica convencional. El flujo obtenido de diseño en la mezcla asfáltica modificada se incrementa mínimamente en 6.52% en comparación de la mezcla convencional. El valor de flujo se incrementa debido al efecto que produce las fibras PET, elevando las características plásticas y de deformación de la mezcla asfáltica modificada.

#### **4.2. Docimasia de hipótesis**

Al inicio de la investigación se planteó que probablemente un adecuado planteamiento y estudio de pavimento modificado con polímeros sería una buena alternativa de solución para las vías, lo cual, hasta cierto punto, es correcto.

Luego de realizar un análisis a varias investigaciones de la aplicación de diferentes tipos de polímeros en asfaltos, podemos determinar que en todas las investigaciones se ven mejoras en las propiedades del pavimento flexible pero esto no significa que todos los polímeros pueden adecuarse, ya que, como se observa en los resultados de la investigación, existen algunos polímeros que presentan dificultades al momento de trabajarlos en campo y que los estudios de laboratorio no siempre serán óptimos para realizar en campo. Estas dificultades se sobreponen por encima de las ventajas, convirtiendo la aplicación de algunos polímeros en no trabajables en campo. Pero, esto no sucede con todos ya que en nuestro análisis también observamos que hay polímeros que si traen consigo ventajas que se sobreponen por encima de las dificultades

### **V. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Del análisis de diferentes investigaciones, en las que hemos observado los resultados de la aplicación de polímeros SBS (elastómeros), EVA y PET (plastómeros), podemos determinar que el polímero con el que es más factible trabajar en el polímero SBS, ya que la mezcla asfáltica

modificado con este polímero presenta un incremento del 51% en su dureza y del 40% en el punto de ablandamiento con respecto a una mezcla asfáltica convencional, además se obtiene una recuperación elástica del 80%, lo que significaría que el periodo en el que la carpeta de rodadura del pavimento flexible necesite un recapeo sea más extenso. Si bien es cierto que el uso de un asfalto modificado con polímero para conformar mezclas asfálticas tiene un incremento en el costo del 22% como se muestra en las tablas 52 y 53, este porcentaje es mucho menor a los beneficios que el uso de polímeros traerá consigo.

Tabla 52  
Análisis de costo unitario de una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros

Partida	01.01 MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLIMEROS						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 300.0000	EQ. 300.0000	Costo unitario directo por : m3			464.29
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	2.7500	0.0733	22.95	1.68	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0533	18.16	0.97	
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0800	16.39	1.31	
<b>3.96</b>							
<b>Materiales</b>							
0201040001	PETROLEO D-2	gal		3.5820	9.50	34.03	
0201050006	ASFALTO MODIFICADO	gal		28.6800	9.80	281.06	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.6080	72.03	43.79	
0207020001	ARENA	m3		0.9156	52.54	48.11	
0207020002	FILLER	kg		65.0620	0.40	26.02	
02222200010010	ADITIVO MORLIFE 500	kg		0.9156	10.00	9.16	
<b>442.17</b>							
<b>Equipos</b>							
0301000020	QUEMADOR	hm	1.0013	0.0267	100.00	2.67	
0301080007	GENERADOR 400 KW	hm	1.0013	0.0267	70.00	1.87	
0301160001	CARGADOR FRONTAL	hm	1.0013	0.0267	160.00	4.27	
0301390003	PLANTA PARA ASFALTO	hm	1.0013	0.0267	350.00	9.35	
<b>18.16</b>							

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 53  
Análisis de costo unitario de una mezcla asfáltica en caliente convencional

Partida	02.01	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 340.0000	EQ. 340.0000	Costo unitario directo por : m3			381.71
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010003	OPERARIO	hh	2.7500	0.0647	22.95	1.48	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0471	18.16	0.86	
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0706	16.39	1.16	
<b>3.50</b>							
<b>Materiales</b>							
0201040001	PETROLEO D-2	gal		3.5820	9.50	34.03	
02010500010006	ASFALTO PEN 60-70	gal		28.6800	7.01	201.05	
0207010001	PIEDRA CHANCADA	m3		0.6080	72.03	43.79	
0207020001	ARENA	m3		0.9156	52.54	48.11	
0207020002	FILLER	kg		65.0620	0.40	26.02	
02222200010010	ADITIVO MORLIFE 500	kg		0.9156	10.00	9.16	
<b>362.16</b>							
<b>Equipos</b>							
0301000020	QUEMADOR	hm	1.0013	0.0236	100.00	2.36	
0301080007	GENERADOR 400 KW	hm	1.0013	0.0236	70.00	1.65	
0301160001	CARGADOR FRONTAL	hm	1.0013	0.0236	160.00	3.78	
0301390003	PLANTA PARA ASFALTO	hm	1.0030	0.0236	350.00	8.26	
<b>16.05</b>							

Fuente: Elaboración Propia

Cabe recalcar que para el presente análisis de precios unitarios se ha tenido en cuenta precios vigentes de la zona de Piura y que los rendimientos difieren entre sí, debido a que, según el análisis de nuestra investigación, la aplicación de polímeros en la mezcla asfáltica trae consigo una baja en el rendimiento frente a la realización de una mezcla asfáltica convencional debido a que el periodo de batido del asfalto debe ser un poco más extenso para lograr uniformizar la mezcla en conjunto con el polímero. Todas las cantidades de los insumos y equipos utilizados para el análisis de costos unitarios han sido obtenidas después de analizar y compatibilizar las diferentes investigaciones analizadas

## CONCLUSIONES

Habiendo concluido nuestro trabajo de investigación, realizando un análisis a diferentes investigaciones sobre la aplicación de polímeros en asfaltos, podemos establecer las siguientes conclusiones:

- La aplicación de polímeros en asfaltos provenientes de la refinería de Talara trae consigo un incremento en la dureza del pavimento y una mejora considerable en la recuperación elástica, lo que significa un gran impacto en el comportamiento y desempeño del pavimento flexible.
- Dentro de los beneficios que trae consigo la incorporación de polímeros elastómeros a la mezcla asfáltica destacan: La capacidad de resistencia al ahuellamiento, se ha demostrado que el punto de ablandamiento de la mezcla asfáltica, principal característica responsable de esta falla, se ve incrementado debido a la incorporación de polímeros a la mezcla, mejorando esta capacidad en un 40% respecto a los asfaltos convencionales; La recuperación elástica torsional del asfalto modificado es de 80% y la del asfalto convencional 8% - 13%, lo que significa una diferencia de elasticidad aproximada del 800%, denotando un mejor comportamiento a la fatiga.
- Cada polímero (elastómero o plastómero) trae consigo diferentes resultados cuando es aplicado en el asfalto. El polímero SBS (elastómero) necesita ser aplicado en un 5% e influye directamente en la estabilidad del pavimento, incrementando la dureza y recuperación elástica. El polímero EVA (plastómero) necesita ser aplicado en un 4% e incide también directamente en la estabilidad del pavimento. El polímero PET (elastómero) necesita ser aplicado en un 1% e incide también directamente en el fuljo del pavimento, pero su aumento en el porcentaje de aplicación, vuelve al pavimento poco trabajable y por ser un porcentaje de aplicación pequeño, la mejora en las características se vuelve poco significativas.
- Algunas de las ventajas que se pueden establecer de la aplicación de polímeros en mezclas asfálticas, tal y como se establecen en el acápite 2.2.7 del Capítulo II y se demuestran después del análisis en los apartados A y B del acápite 3.5.2 del Capítulo III son:

- ✓ Aminora la susceptibilidad a los tiempos de carga a la cual está sometido el pavimento, es decir, tiene una mejor recuperación elástica con respecto a un pavimento flexible convencional.
  - ✓ El fisuramiento se reduce debido al aporte de flexibilidad a rangos bajos de temperaturas de servicio.
  - ✓ El polímero tiene características humectantes y adhesivas, lo que trae consigo una mejora en la relación entre agregados y asfalto.
  - ✓ Mejora en la resistencia mecánica del pavimento y resistencia a la tracción.
  - ✓ Mejor elasticidad en la mezcla asfáltica.
- Como se puede observar en el capítulo de presentación de resultados un asfalto modificado con polímeros servirá para tránsito liviano y pesado, y las características de aplicación del polímero dependerá de este, pero, siempre se obtendrá mejora en las características. Además, una mezcla asfáltica modificada con polímeros tendrá un mejor comportamiento frente a las características que se presenten en el medio (como temperatura y viento) ya que la adición de polímeros en una mezcla asfáltica convencional aumenta el grado superior de PG.
  - El costo de una mezcla asfáltica modificada con polímeros es de S/. 464.29 por metro cúbico, esto significa un aumento de S/. 82.58 (22% adicional) frente a una mezcla asfáltica convencional, esto sucede como consecuencia del costo del polímero y de una baja en el rendimiento (de 340 m<sup>3</sup>/día a 300 m<sup>3</sup>/día) como se muestra en el sustento del Capítulo V: Discusión de Resultados. Como ya se expuso antes, este incremento del 22% en el costo del pavimento se contrarresta con los beneficios que la aplicación de polímeros genera en el pavimento flexible.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar investigando pasada toda la coyuntura, para así tener fuentes confiables de investigación que continúen avalando el uso de polímeros en los asfaltos.
- Se sugiere hacer estudios, haciendo un cambio de cantera y usando diversas gradaciones dentro de las recomendadas por la normativa peruana, para obtener una mejor perspectiva del efecto que trae consigo la incorporación de polímeros a los asfaltos.
- Se precisa que el empleo de polímeros tipo SBS en asfaltos presenta una mejor compatibilidad y uniformidad en la mezcla, debido a que no sustituye parcial ni totalmente a ninguno de los agregados empleados en el diseño de la mezcla asfáltica.
- Frente a nuevas propuestas de investigación, se recomienda incorporar la metodología Superpave en su totalidad en los ensayos de caracterización de los asfaltos, ya que la presente tesis solo enfocó la afección del clima en los asfaltos y como incidía este en el punto de ablandamiento.
- Se recomienda al estado peruano la actualización constante de nuevas estrategias para la evaluación de pavimentos, pero que estas sean adaptadas totalmente a la realidad peruana. Evitando así fallas en la vida útil del pavimento asfáltico.
- Es imprescindible el acondicionamiento de laboratorios especializados para la correcta evaluación y elaboración de pavimentos modificados con polímeros, incrementando su investigación y uso en carreteras nacionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Casanova, W. (2017). "Determinación de una Metodología para Caracterizar Asfaltos Modificados con Polímero usados en Pavimentos Flexibles". Querétaro – México.
- Chen Tan, L. (2018). "Determinación de la propiedad de Adhesión de Asfaltos Modificados con distintos tipos de Polímeros en diferentes agregados y acondicionamientos, utilizando las técnicas de ensayo de Adherencia de Bitumen y Goniometría". San José – Costa Rica.
- Corbacho, J. (2019). "Análisis de la Estabilidad Marshall y la Deformación Permanente mediante el Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo de una Mezcla Asfáltica Modificada en Caliente con Fibras de Tereftalato de Polietileno Reciclado en la Ciudad del Cusco-2018". Cusco – Perú.
- Cornejo, D. y Vargas, J. (2017). "Análisis comparativo del comportamiento mecánico de mezclas de concreto asfáltico tipo 2 (MDC-19) con adición de polímeros". Bogotá – Colombia.
- Diario Nacional El Peruano (2019). "Meta del MTC al 2021". Lima - Perú.
- Escalante, M. (2015). "Diseño de Mezclas SMA (STONE MASTIC ASPHALT) para Superficies de Rodadura, utilizando Asfaltos Modificados, en Pavimentos Flexibles". Universidad de San Carlos – Guatemala.
- Galdós, F. y Villareal, K. (2017). "Diseño de la carretera Cunguay – Querquerball – Pueblo libre – Suruvara (alta y baja), Distrito Santiago de Chuco, provincia Santiago de Chuco - La Libertad". Trujillo – Perú.
- Guevara, J. y Ruiz, R. (2016). "Análisis Comparativo de Áridos del sector El Milagro Estabilizados con Asfalto de Caucho Reciclado y Asfalto Convencional para Capas Bases". Trujillo – Perú.
- Infante, C. y Vásquez, D. (2016). "Estudio Comparativo del Método Convencional y uso de los Polímeros EVA y SBS en la aplicación de Mezclas Asfálticas". Chiclayo – Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones "Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013". Perú.

- Navarro, J. (2017). "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". Chiclayo – Perú.
- Palma, C., Ortiz, J., Ávalos, F. y Castañeda, A. (2015). "Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos". Universidad Autónoma de Coahuila – México.
- Portal Web: "Petróleo del Perú". PetroPerú S.A.
- Salamanca, D. (2018). "Estudio Comparativo del Comportamiento de Mezcla Asfáltica con Incorporación de Polvo de Caucho Nacional, mediante Vía Seca, versus Mezcla con Asfalto Modificado con Polímeros y Asfalto Multigrado. Tramo de Prueba: Catapilco – La Laguna". Valparaíso – Chile.
- Salcedo, C. (2008). "Experiencia de modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS en obra". Piura – Perú.
- Sánchez, N. (2016). "Pavimentos asfálticos de alto módulo (caso de estudio; libramiento Dr. Gonzales, N.)". Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, México D.F.
- Valdivia V. (2017). "Análisis del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente incorporando polímeros SBS en la av. universitaria cuadra 53 al 57- Comas, Lima 2017". Universidad Cesar Vallejo – Facultad de Ingeniería Civil, Lima – Perú.
- Vergara, A. (2015). "Evaluación del Estado Funcional y Estructural del Pavimento Flexible mediante la Metodología PCI tramo Quichay – Ingenio del Km 0+000 al Km 1+000 2014". Huancayo – Perú.
- Villafana, D. y Ramírez, R. (2019). "Análisis del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS BETUTEC IC y una Mezcla Asfáltica Convencional 60/70". Lima – Perú.

## ANEXOS

Anexo 01: Equipo de laboratorio usado por Salcedo



MOLINO COLOIDAL DE LABORATORIO



VISCOSIMETRO BROOKFIELD



PENETRÓMETRO ESTANDAR



APARATO DE ANILLO Y ESFERA PARA ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO



DUCTILOMETRO



HORNO ROTATORIO PARA ENSAYO DEL EFECTO DE CALOR Y AIRE A 163°C

Anexo 03: Ensayo de laboratorio Asfalto 85/100

**INFORME DE ENSAYO**

**PRODUCTO: PETROPERU ASFALTO SOLIDO 85/100 PEN**

REF 1 LAB 1468-LAB 240-2008

COT. N° PS-2818-203-4620		FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 08/04/2008			
TANQUE DE DESPACHO: 208		FECHA DE REPORTE: 02/05/2008			
CUENTE: EQUIPOS Y LOGISTICA SAC.		DIRECCION CLIENTE: TALARA			
DESCRIPCIÓN MUESTRA: Código de la Muestra: 0211-2008 Cantidad de muestra: 700 ml Tipo de l muestra: vidrio		OTRA INFORMACIÓN DE LA MUESTRA: Los ensayos fueron realizados por la Unidad Movimiento de Productos Las muestras fueron tomadas por personal de dicha unidad			
ENSAYO	Unidad	MÉTODO ASTM u OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES	
				MÍNIMO	MÁXIMO
<b>PENETRACIÓN</b>					
A 25°C, 100 g, 5s	8 mm	D-97	91	85	100
<b>VOLATILIDAD</b>					
Punto de Inflexión Cleveland, copa abierta	°C	D-87-07b	285	230	
Densidad específica a 15.6°C (G)		D-79-03	1.043	REPORTAR	
<b>DUCTILIDAD</b>					
A 25°C, 5 cm/min	cm	D-113-00	+150	100	
<b>SOLUBILIDAD</b>					
En tolueno caliente	%	D-2562-01	89.8	90	
<b>SUSCEPTIBILIDAD TERMICA</b>					
Pérdida por calentamiento	%	D-1754-02	8.20		1.0
Resistencia a la oxidación, del original	%	D-6-97	97	90	
Contenido a 25°C, 0 cm/min	cm	D-113-00	+150	100	
Índice de gelificación (Pavlov)	-	Ensayo RTLA01	-0.10	-1.0	+1.0
<b>FLUJES</b>					
Viscosidad cinemática a 100°C	cSt	D-2170-01a	2080		
Viscosidad cinemática a 135°C	cSt	D-2170-01a	278	170	
<b>ADHESIÓN</b>					
Revestimiento dependiente de la muestra agregada - bitumen	%	D-1994	+66	MAYOR DE 65	
PRUEBA DE LA BRANCA (CLINBER) SULFENOL		ASTM D-1049M	PARA	REPORTAR	
Punto de Ablandamiento	°C	D-36-01	88.8	REPORTAR	
<b>OBSERVACIONES:</b>					
1 - Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada.					
2 - El producto cumple las especificaciones de PETROPERU S.A.					
3 - Densidad AP @15.6°C = 0.4					
PREPARADO POR: Nombre: Función: <b>CARLOS ENCALACA L</b> <b>LABORATORISTA</b> Firma: <i>[Firma]</i> Fecha: <b>02/05/08</b>		APROBADO POR: Nombre: Función: Firma: <i>[Firma]</i> Fecha: <b>02/05/08</b> <b>LAB. RESP. TURNO</b>			

WLAB-F-08, Versión 02

FIN DE REPORTE

Anexo 04: Inspección de los resultados del asfalto modificado



INSPECCIÓN VISUALA CONTRA LUZ



MUESTRA HOMOGENEA SIN TRAZAS DE POLIMERO SIN MODIFICAR

Anexo 05: Equipo Industrial de Producción de Asfalto modificado



MOLINO COLOIDAL Y BOMBA DE ASFALTO



ALIMENTADORES DE POLÍMERO POR GRAVEDAD



TANQUES DE MODIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ASFALTO

Anexo 06: Ensayo de Laboratorio de Rueda Cargada de Hamburgo



EXPEDIENTE R.H. / LMA  
148-2018-LAB TDM ASFALTOS

**REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO  
PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS  
AASHTO T - 324**

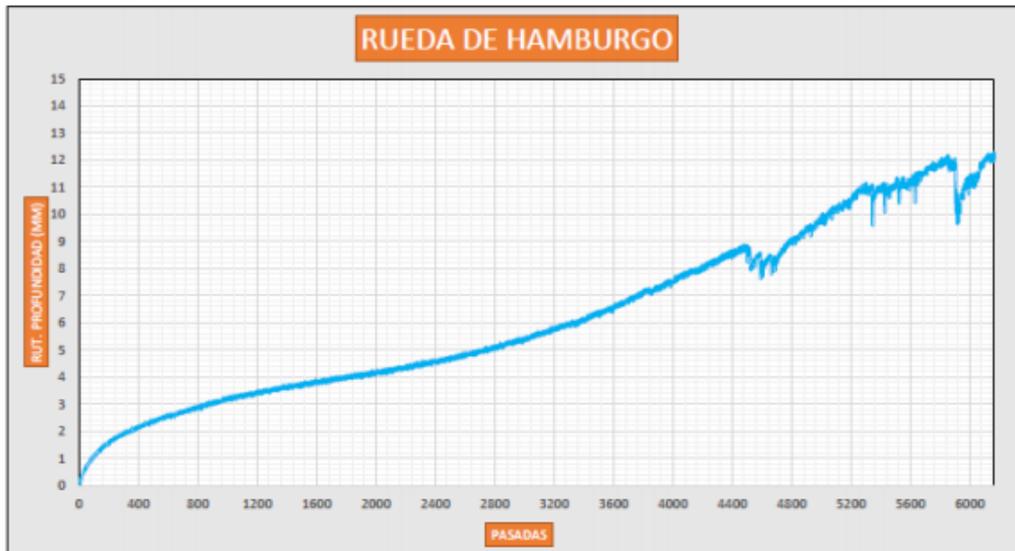
PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MARSHALL Y LA DEFORMACIÓN PERMANENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA EN CALIENTE CON FIBRAS DE TERFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA CIUDAD DE CUSCO - 2018  
 UBICACIÓN : CUSCO  
 SOLICITANTE : JORGE EDISON CORBACHO CHIPANA  
 REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL MAC 2 CON ASFALTO PEN 120/150  
 FECHA : 17/08/2018

**DETALLE DE LA MEZCLA**  
 AGREGADO : CANTERA MORRO BLANCO. TIPO DE COMPACTACIÓN : COMPACTADOR GIRATORIO  
 FILLER : --- PORCENTAJE DE VACIOS : 7.3 %  
 ASFALTO : PEN 120/150  
 DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA : 2436 Kg/m3

**DATOS INICIALES DE LA PRUEBA**  
 PRUEBA : 148 TEMPERATURA DE ENSAYO : 50 °C  
 TIPO DE MUESTRA : Doble Núcleos NÚMERO MAX. PASADAS : 20000 pasadas  
 NOMBRE DE LA MUESTRA : --- PROFUNDIDAD MÁXIMA : 12.5 mm  
 DIÁMETRO : 150.0 mm VELOCIDAD DE LA RUEDA : 52 pasadas / min  
 ESPESOR : 60.0 mm OPERADOR : R.V.

**RESULTADOS FINALES**  
 PROFUNDIDAD FINAL RUT. : 12.50 mm PASADAS : 6166  
 TIPO DE MEDIO TÉRMICO : AGUA  
 FEEDBACK UTILIZADO : EN EL TANQUE  
 TEMPERATURA MÁXIMA : 50.8 °C  
 TEMPERATURA MÍNIMA : 49.8 °C

- OBSERVACIONES**
- ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.
  - LA PRUEBA SE DETUVO AUTOMÁTICAMENTE EN LAS 6166 PASADAS DE LA RUEDA.
  - LA CONDICIÓN DE PROFUNDIDAD MÁXIMA DE AHUELLAMIENTO FUE ALCANZADA.



*Guillermo Vera B.*  
Guillermo Vera B.  
Laboratorista

*Wendy Herencia*  
Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica

REPORTE DE ENSAYO RUEDA CARGADA DE HAMBURGO



ESPECÍMENES DE ENSAYO