

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DE LA  
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON  
POLIMERO SBS BETUTEC 60/85 EN EL DISEÑO  
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV.  
INDUSTRIAL, LURIN, LIMA, 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Guillermo Angel Vera Bonzano

**Asesor:**

M. Cs. Erlyn Giordany Salazar Huamán

<https://orcid.org/0000-0001-7619-7995>

Lima - Perú

2023

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	<b>MG. GONZALO HUGO DIAZ GARCIA</b>
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	<b>MG. JVAN JOVANOVIC AGUIRRE</b>
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	<b>MG. ERLYN GIORDANY SALAZAR HUAMÁN</b>
	Nombre y Apellidos

## INFORME DE SIMILITUD

INFORME DE ORIGINALIDAD			
<b>17</b> %	<b>15</b> %	<b>4</b> %	<b>8</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
FUENTES PRIMARIAS			
<b>1</b>	<b>www.dspace.uce.edu.ec</b> Fuente de Internet		<b>1</b> %
<b>2</b>	<b>webcache.googleusercontent.com</b> Fuente de Internet		<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.umsa.bo</b> Fuente de Internet		<b>&lt;1</b> %
<b>4</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet		<b>&lt;1</b> %
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru</b> Trabajo del estudiante		<b>&lt;1</b> %
<b>6</b>	<b>repositorio.utea.edu.pe</b> Fuente de Internet		<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>repositorioacademico.upc.edu.pe</b> Fuente de Internet		<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet		<b>&lt;1</b> %

## **DEDICATORIA**

A mi esposa, padres e hijos, quienes me motivan a ser mejor cada día. A todas las personas que forman parte importante de mi vida, quienes con sus consejos y enseñanzas hicieron posible mi éxito y acompañaron mi crecimiento profesional.

Vera, G

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por concederme la dicha de poder alcanzar un logro más en la vida y por otorgarme la salud necesaria para continuar luchando por mis sueños. A la guía de mis maestros, a la lealtad de mis amigos y, por, sobre todo, agradezco el apoyo incondicional de mi familia quienes siempre estuvieron conmigo alentándome para seguir adelante.

Vera, G.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	II
INFORME DE SIMILITUD	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
INDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE IMÁGENES	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XV
RESUMEN	XVII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>1</b>
1.1.1. Realidad problemática internacional	3
1.1.2. Realidad problemática regional	5
1.1.3. Realidad problemática nacional	6
1.1.4. Realidad problemática local	8
<b>1.2. Antecedentes de investigación</b>	<b>9</b>
1.2.1. Antecedentes internacionales	9
1.2.2. Antecedentes nacionales	11
<b>1.3. Formulación del problema</b>	<b>13</b>
1.3.1. Problema general	13
1.3.2. Problema específico	13
<b>1.4. Objetivos</b>	<b>14</b>

1.4.1.	Objetivos generales	14
1.4.2.	Objetivos específicos	14
<b>1.5.</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>14</b>
1.5.1.	Hipótesis generales	14
1.5.2.	Hipótesis específicas	14
<b>1.6.</b>	<b>Justificación de la investigación</b>	<b>15</b>
1.6.1.	Justificación teórica o científica	15
1.6.2.	Justificación metodológica:	16
1.6.3.	Justificación practica o social:	16
<b>1.7.</b>	<b>Marco conceptual</b>	<b>17</b>
1.7.1.	El asfalto	17
a)	<b>Definición</b>	17
b)	<b>Asfalto natural</b>	17
c)	<b>Asfalto destilado del petróleo</b>	18
1.7.2.	Clasificación de los cementos asfálticos	19
a)	<b>Cemento Asfáltico</b>	20
b)	<b>Propiedades</b>	20
c)	<b>Composición química del asfalto</b>	22
1.7.3.	Polímeros SBS	23
1.7.4.	Asfaltos modificados con polímero	23
1.7.5.	Ventajas de la modificación del asfalto	24
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>		<b>25</b>
<b>2.1.</b>	<b>Tipo y diseño de investigación</b>	<b>25</b>
2.1.1.	Tipo	25
2.1.2.	Diseño	25
<b>2.2.</b>	<b>Variables de operacionalización</b>	<b>26</b>
2.2.1.	Variables:	26
<b>2.3.</b>	<b>Población y muestra</b>	<b>26</b>

2.3.1.	Población	26
2.3.2.	Muestra	27
<b>2.4.</b>	<b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad</b>	<b>27</b>
2.4.1.	Técnicas de recolección de datos	27
2.4.2.	Instrumentos de recolección de datos	28
2.4.3.	Validez	29
2.4.4.	Confiabilidad del instrumento	29
<b>2.5.</b>	<b>Implicancia</b>	<b>29</b>
<b>2.6.</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>30</b>
<b>2.7.</b>	<b>Aspectos éticos</b>	<b>30</b>
<b>2.8.</b>	<b>Procedimientos de recolección de datos</b>	<b>31</b>
 <b>CAPITULO III: RESULTADOS</b>		 <b>33</b>
<b>3.1.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA REAL DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>33</b>
<b>3.2.</b>	<b>SELECCIÓN Y MUESTREO DE LOS AGREGADOS</b>	<b>35</b>
<b>3.3.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS</b>	<b>36</b>
3.3.1.	Granulometría – ASTM C136	39
3.3.2.	Equivalente de Arena – ASTM D2419	41
3.3.3.	Peso específico del agregado fino – ASTM C127	43
<b>3.4.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS</b>	<b>44</b>
<b>3.4.1.</b>	<b>Penetración – ASTM D5</b>	<b>45</b>
<b>3.4.2.</b>	<b>Punto de Inflamación – ASTM D92</b>	<b>46</b>
<b>3.4.3.</b>	<b>Solubilidad en Tricloroetileno – ASTM D2042</b>	<b>48</b>
<b>3.4.4.</b>	<b>Punto de Ablandamiento – ASTM D36</b>	<b>50</b>
<b>3.4.5.</b>	<b>Ductilidad – ASTM D113</b>	<b>51</b>



<b>3.4.6. Recuperación Elástica Lineal – ASTM D6084</b>	<b>53</b>
<b>3.4.7. Viscosidad Cinemática – ASTM 2170</b>	<b>54</b>
<b>3.4.8. Viscosidad Brookfield – ASTM D4402</b>	<b>56</b>
<b>3.5. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA</b>	<b>58</b>
<b>3.5.1. Medición de las propiedades de las mezclas asfálticas</b>	<b>58</b>
<b>3.5.2. Metodología MARSHALL</b>	<b>59</b>
<b>3.6. EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE ACUERDO CON LAS NORMAS TÉCNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO SBS BETUTEC 60/85</b>	<b>62</b>
3.6.1. Ensayo de Rueda de Hamburgo – AASHTO T324	62
3.6.2. Ensayo de Modulo Resiliente – AASHTO TP31	64
3.6.3. Ensayo de Vida Fatiga – AASHTO T321	66
3.6.4. Ensayo de Lottman – AASHTO T283	68
<b>3.7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO SBS BETUTEC 60/85.</b>	<b>69</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>72</b>
<b>4.1. DISCUSIÓN</b>	<b>72</b>
▪ <b>DE LA PROBLEMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>72</b>
▪ <b>DE LOS ASFALTOS UTILIZADOS PARA LOS DISEÑOS DE MEZCLA</b>	<b>72</b>
▪ <b>DE LAS NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS</b>	<b>73</b>
▪ <b>DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS</b>	<b>74</b>
<b>4.2. CONCLUSIONES</b>	<b>75</b>
▪ <b>DE LOS ASFALTOS UTILIZADOS PARA LOS DISEÑOS DE MEZCLA</b>	<b>75</b>

▪	<b>DE LAS NORMAS TECNICAS UTILIZADAS</b>	<b>75</b>
▪	<b>DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS</b>	<b>75</b>
<b>CAPÍTULO V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>76</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>82</b>
<b>A.1. INSTRUMENTOS Y VALIDACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO</b>		<b>82</b>
<b>A.2. ENSAYOS DE LABORATORIO</b>		<b>89</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población de la investigación.....	27
Tabla 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio .....	34
Tabla 3. Ubicación geográfica de la cantera Crushing.....	36
Tabla 4. Requerimiento para los agregados gruesos .....	38
Tabla 5. Requerimiento para los agregados finos .....	39
Tabla 6. Resultados del Equivalente de arena de los agregados finos .....	42
Tabla 7. Peso específico del agregado fino .....	43
Tabla 8. Peso específico del agregado grueso.....	43
Tabla 9. Resultados de las pruebas de penetración .....	45
Tabla 10. Resultados de las pruebas de punto de inflamación .....	47
Tabla 11. Resultados de las pruebas de punto de solubilidad .....	49
Tabla 12. Resultados de las pruebas de punto de ablandamiento.....	50
Tabla 13. Resultado de las pruebas de ductilidad .....	52
Tabla 14. Resultados de las pruebas de recuperación elástica lineal .....	53
Tabla 15. Resultados de las pruebas de viscosidad cinemática.....	55
Tabla 16. Resultados de las pruebas de viscosidad brookfield .....	57
Tabla 17. Cuadro de resumen de los diseños de las mezclas asfálticas .....	61
Tabla 18. Ensayos de Rueda de Hamburgo de las Mezclas Asfálticas .....	63
Tabla 19. Ensayos de Modulo Resiliente de las Mezclas Asfálticas.....	65
Tabla 20. Ensayos de Fatiga de las Mezclas Asfálticas .....	67
Tabla 21. Resultados de las pruebas de Lottman .....	69
Tabla 22. Resultados volumétricos .....	69
Tabla 23. Resultados de las pruebas de Hamburgo.....	70
Tabla 24. Resultados de las pruebas de Módulo resiliente.....	71

Tabla 25. Resultados de las pruebas de Módulo resiliente.....	71
Tabla 26. Variables, dimensiones e indicadores .....	83
Tabla 27. Equivalentes de arena procesada.....	94
Tabla 28. Equivalentes de arena chancada.....	94
Tabla 29. Resultados de las pruebas de penetración .....	94
Tabla 30. Resultados de las pruebas de punto de inflamación .....	95
Tabla 31. Resultados de las pruebas de solubilidad .....	95
Tabla 32. Resultados de las pruebas de punto de ablandamiento.....	95
Tabla 33. Resultados de las pruebas de ductilidad.....	95
Tabla 34. Resultados de las pruebas de recuperación elástica lineal .....	96
Tabla 35. Resultados de las pruebas de viscosidad cinemática.....	96
Tabla 36. Resultados de las pruebas de viscosidad brookfield .....	96
Tabla 37. Caracterización del AMP Betutec 60/85 .....	97
Tabla 38. Caracterización del PEN 60/70 Plus .....	97
Tabla 39. Huso granulométrico.....	98
Tabla 40. Cuadro de resumen de diseño de mezcla asfáltica modificada .....	99
Tabla 41. Cuadro de cálculos de la mezcla asfáltica modificada .....	100
Tabla 42. Cuadro de resumen de diseño de mezcla asfáltica convencional .....	102
Tabla 43. Cuadro de cálculos de la mezcla asfáltica convencional.....	103
Tabla 44. Ensayo de Lottman de la Mezcla Asfáltica Modificada.....	112
Tabla 45. Ensayo de Lottman de la Mezcla Asfáltica Convencional.....	113
Tabla 46. Resultados de las pruebas de Lottman .....	114
Tabla 47. Resultados volumétricos. ....	114
Tabla 48. Resultados de las pruebas de Hamburgo.....	116
Tabla 49. Resultados de las pruebas de Módulo resiliente.....	116
Tabla 50. Resultados de las pruebas de Módulo resiliente.....	117

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Lago de asfalto en Trinidad y Tobago. Fuente: <a href="http://escuelaparatodos.cr">escuelaparatodos.cr</a> .....	18
Imagen 2. Diagrama de flujo para asfaltos destilados del petróleo. Fuente: Petroperú. ....	19
Imagen 3. Diagrama de clasificación del asfalto. Fuente: Elaboración propia. ....	19
Imagen 4. Cemento asfáltico. Fuente: Asfaltos company vial. ....	20
Imagen 5. Comportamiento viscoelástico del asfalto. Fuente: <a href="http://elcementoasfaltico.blogspot.com">elcementoasfaltico.blogspot.com</a> ...	21
Imagen 6. Composición química del cemento asfáltico. Fuente: Elaboración propia. ....	22
Imagen 7. Composición química del polímero SBS. Fuente: <a href="http://mexpolimeros.com">mexpolimeros.com</a> .....	23
Imagen 8. Procedimiento de recolección de danos. Fuente: Elaboración propia .....	32
Imagen 9. Área de estudio en el distrito de Lurín, departamento de Lima. Fuente: Google Maps..	33
Imagen 10. Av. Industrial distrito de Lurín, departamento de Lima. Fuente: Google Maps .....	34
Imagen 11. Condición actual de la Av. Industrial distrito de Lurín. Fuente: Propia.....	35
Imagen 12. Condición Ubicación de la cantera Crushing. Fuente: Google earth .....	36
Imagen 13. Agregados a utilizar en los diseños de mezcla cantera Crushing .....	37
Imagen 14. Combinación de agregados ASTM D3515-D5. Fuente: Elaboración propia.....	40
Imagen 15. Ensayo de granulometría, caracterización de los agregados. ....	41
Imagen 16. Ensayo de equivalente de arena.....	42
Imagen 17. Ensayo de gravedad específica de la arena.....	44
Imagen 18 Ensayo de penetración.....	46
Imagen 19. Ensayo de punto de inflamación .....	48
Imagen 20. Ensayo de solubilidad en tricloroetileno .....	49
Imagen 21 Ensayo de punto de ablandamiento .....	51
Imagen 22. Ensayo de ductilidad .....	52
Imagen 23. Ensayo de recuperación elástica lineal .....	54
Imagen 24. Ensayo de viscosidad cinemática .....	56

Imagen 25. Ensayo de viscosidad Brookfield .....	58
Imagen 26. CBR calicatas en la Av. Industrial. Fuente: Paredes, G. (2021) .....	82
Imagen 27. Incidencia por tipos de vehículos que transitan en la Av. Industrial. Fuente: Paredes, G. (2021) .....	82
Imagen 28. Estado actual del pavimento en la Av. Industrial. Fuente: Elaboración propia.....	84
Imagen 29. Recolección de muestras de agregados. ....	87
Imagen 30. Granulometría de la piedra chancada de ½”. Fuente: Elaboración propia .....	89
Imagen 31. Granulometría del confitillo. Fuente: Elaboración propia.....	90
Imagen 32. Granulometría de la arena chancada. Fuente: Elaboración propia .....	91
Imagen 33. Granulometría de la arena procesada. Fuente: Elaboración propia.....	92
Imagen 34. Combinación de agregados ASTM D3515-D5. Fuente: Elaboración propia.....	93
Imagen 35. Especímenes de prueba con mezcla asfáltica modificada. ....	105
Imagen 36. Especímenes de prueba con mezcla asfáltica convencional.....	106
Imagen 37. Especímenes de prueba con mezcla asfáltica modificada. ....	107
Imagen 38. Especímenes de prueba con mezcla asfáltica modificada. ....	108
Imagen 39. Maquina Universal UTM para Ensayo de vida fatiga.....	109
Imagen 40. Espécimen de prueba con mezcla asfáltica modificada. ....	110
Imagen 41. Espécimen de prueba con mezcla asfáltica convencional. ....	111
Imagen 42. Especímenes de prueba del ensayo de Lottman. ....	111
Imagen 43. Informe de calidad del AMP Betutec 60/85 .....	118
Imagen 44. Ficha Técnica del AMP Betutec 60/85.....	119
Imagen 45. Informe de calidad del Asfalto PEN 60-70 Repsol .....	120

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparativo de penetración .....	45
Gráfico 2. Comparativo de punto de inflamación .....	47
Gráfico 3. Comparativo de solubilidad en tricloroetileno .....	49
Gráfico 4. Comparativo de punto de ablandamiento.....	51
Gráfico 5. Comparativo de punto de ductilidad .....	52
Gráfico 6. Comparativo de recuperación elástica lineal.....	54
Gráfico 7. Comparativo de viscosidad cinemática.....	55
Gráfico 8. Comparativo de viscosidad brookfield.....	57
Gráfico 9. Gráficos comparativos de estabilidad y flujo de los diseños marshall.....	61
Gráfico 10. Comparativo de deformación de Rueda de Hamburgo .....	63
Gráfico 11. Gráfico de Rueda de Hamburgo Mezcla Asfáltica Modificada .....	63
Gráfico 12. Gráfico de Rueda de Hamburgo Mezcla Asfáltica Convencional .....	64
Gráfico 13. Ensayos de Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica Modificada.....	65
Gráfico 14. Ensayos de Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica Convencional .....	66
Gráfico 15. Comparativo de Módulo Resiliente .....	66
Gráfico 16. Comparativo de Vida Fatiga .....	67
Gráfico 17. Espécimen de prueba de la Mezcla Asfáltica Modificada .....	68
Gráfico 18. Ensayo de Vida Fatiga de la Mezcla Asfáltica Convencional .....	68
Gráfico 19. Curvas de diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	101
Gráfico 20. Curvas de diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	104
Gráfico 21. Ensayos de Rueda de Hamburgo Mezcla Asfáltica Modificada .....	105
Gráfico 22. Ensayos de Rueda de Hamburgo Mezcla Asfáltica Convencional .....	106
Gráfico 23. Ensayos de Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica Modificada.....	107
Gráfico 24. Ensayos de Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica Convencional .....	108

Gráfico 25. Espécimen de prueba de la Mezcla Asfáltica Modificada .....	109
Gráfico 26. Ensayo de Vida Fatiga de la Mezcla Asfáltica Convencional .....	110
Gráfico 27. Comparativo de Lottman .....	114
Gráfico 28. Volumetría de diseños de mezcla.....	115
Gráfico 29. Deformación permanente de los especímenes de mezcla .....	116
Gráfico 30. Deformación elástica recuperable de los especímenes de mezcla .....	117
Gráfico 31. Resistencia a la fatiga de los especímenes de mezcla .....	117



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo evaluar las propiedades de la mezcla asfáltica de alto desempeño diseñada con el asfalto modificado con polímeros SBS Betutec 60/85 en comparación con una mezcla asfáltica diseñada con el asfalto convencional PEN 60/70 Plus, como parte del diseño del pavimento flexible propuesto para la Av. Industrial en el distrito de Lurín, ya que, como sabemos, una obra de pavimentación vial no solamente genera comodidad y seguridad a los que la transitan, sino que también mejora la calidad de vida y el acceso a las principales vías de comunicación para sus habitantes. Ese es el verdadero objetivo en la construcción de los pavimentos asfálticos de gran performance, que sus tiempos de vida útil sean acorde con las necesidades para las cuales fueron construidas.

Como primer punto se procedió con la caracterización de los agregados y asfaltos para luego continuar con la elaboración de los diseños de mezcla asfáltica por el método Marshall según la ASTM D 6926 / ASTM D6927. Este procedimiento utilizado comprende las mediciones de las propiedades volumétricas. Así mismo, medimos la deformación permanente, módulo de elasticidad y módulo de rigidez estipulados en las Especificaciones Técnicas Generales EG-2013 capítulo IV Pavimentos Flexibles en la sección 423 Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente, cuyos resultados predecirán cual será el aporte de la mezcla asfáltica como parte del diseño de pavimento. Las normas técnicas AASHTO T324, TP31, T321 también fueron tomadas como referencia para la medición del desempeño. Esto nos permitió reafirmar sobre la importancia que representa la utilización de los asfaltos modificados con polímeros SBS en el mejoramiento de las propiedades de la

mezcla asfáltica. De los resultados obtenidos, se consideró que la mezcla con asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85 es una mejor opción frente al asfalto convencional PEN 60/70 Plus mostrando un mejor desempeño en deformación permanente en un 86.5% por encima del asfalto convencional, en módulo resiliente con un 13.6%, vida fatiga en 92.2% de su rigidez flexural y en Lottman con 5.9%. Todo ello nos indica que la mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímero SBS nos brindará un mayor tiempo de vida útil del pavimento frente a las capacidades del tráfico de la zona de estudio.

**PALABRAS CLAVES:** asfalto, asfalto modificado, polímero SBS, diseño de mezcla asfáltica, normas técnicas AASHTO.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

El crecimiento actual y desmedido de nuestro parque automotor ha sido un punto de inflexión muy determinante en el tiempo de vida útil, nivel de servicialidad, el desempeño y duración de nuestras pistas. Hasta hace unos pocos años la frecuencia del tránsito de los vehículos era evidentemente muy inferior a la de hoy en día, así también el tonelaje y los ejes equivalentes de los vehículos pesados en la actualidad es mayor, todo ello sumado a las condiciones climáticas desfavorables en las distintas zonas de nuestro país hacen necesario que se tomen medidas concretas en el diseño y modelación de los pavimentos.

Las carreteras son vías de comunicación que unen pueblos, llevan alimentos, tecnología y prosperidad, es por ello por lo que se insiste con llevar a cabo un planteamiento en el cual se prevea la importancia de construir una vía que pueda soportar el alto tráfico y tránsito que demande a fin de no sufrir deterioro a corto plazo.

Es en ese sentido que el objetivo de esta investigación es poder incidir en la utilización de los asfaltos modificados con polímeros SBS en la construcción de los pavimentos flexibles. Mucho tiene que ver con un incorrecto manejo de las normas y de las entidades gubernamentales que son las encargadas de regular.

### **1.1. Realidad problemática**

En el Diagnostico Integral Participativo del Distrito de Lurín 2010-2012, Volumen I, pagina 52, realizado por la Municipalidad de Lurín, sobre el Congestionamiento Vehicular, se menciona que:

El distrito de Lurín viene mostrando, desde hace algún tiempo, un enorme crecimiento urbano. Siendo uno de los distritos industriales más importantes de la zona sur se ha visto en la necesidad de reestructurar su sistema vial, lo que implica un cambio en la

capacidad, resistencia y calidad de sus pistas. El congestionamiento vehicular en la antigua Panamericana Sur es originado por el tránsito lento de los vehículos de carga pesada que circulan por esta vía, a ello se suma la aglomeración generada por el transporte público y un sistema de semaforización deficiente.

La Defensoría del Pueblo (2022) en su portal de transparencia nos dicen que:

Existen distintos puntos en el país donde las pistas dañadas son causas de innumerables accidentes de tránsito. En este caso se hace referencia a un déficit de planeamiento estructural donde las municipalidades y gobiernos regionales toman un papel importante. Si bien es cierto el mantenimiento y preservación de las pistas corresponde directamente a las municipalidades vemos con profunda preocupación cómo las autoridades ediles no se hacen cargo de los proyectos y encontramos las vías abandonadas, Así mismo debido al incremento de cargas en los vehículos y al tránsito lento en algunos sectores de las vías, estas vienen siendo sometidas a una exigencia mayor para la cual no fue proyectada ni diseñada.

Vemos de manera preocupante cómo la Av. Industrial, presenta problemas de fallas permanentes, pistas deterioradas, capa de rodadura en pésimas condiciones, por lo que se requiere de un planteamiento estratégico que contemple un análisis estructural y un diseño de mezcla óptimo. Teniendo en cuenta ello, es que se pretende abordar este tema ya que sabemos que el desarrollo y progreso de un país se debe en gran medida a la magnitud y calidad de sus vías de comunicación y las carreteras son parte muy importantes que facilitan el acceso hacia los distintos pueblos y propicia el intercambio cultural, social, económico y tecnológico entre sus habitantes.

Infobae Perú (2022) en su artículo sobre los puntos críticos con mayor incidencia de accidentes de tránsito en Lima y Callao menciona que:

Las vías metropolitanas de la ciudad de Lima registran aproximadamente 250 puntos críticos donde ocurren mayor cantidad accidentes de tránsito y la mayoría de estos son por la falta de señalización y pistas en mal estado, con baches y grietas debido un inadecuado mantenimiento. El incumplimiento de los Términos de Referencia, que son los que establecen las características técnicas de los materiales utilizados, un planeamiento vial bien estructurado y de calidad podría reducir hasta en un 30% los accidentes de tránsito.

La necesidad de preservar y mejorar dichas vías de comunicación terrestre ha impulsado a las instituciones estatales y gubernamentales a utilizar cada vez más nuevas tecnologías para este fin. (Silvestre, 2017)

Los pavimentos flexibles asfaltos modificados con polímeros SBS brindan al pavimento esa ventaja frente a los asfaltos convencionales ya que mejoran su desempeño frente a la deformación plástica (ahuellamientos), cambios bruscos de temperaturas, intemperismo, oxidación por los rayos ultravioleta y mejora su resistencia a la fatiga por la alta transitabilidad de la vía. (Valdivia, 2017).

### **1.1.1. Realidad problemática internacional**

Según una encuesta del Lanamme y el CIEP (2015), menciona que:

En Costa Rica, un país donde las condiciones de su red vial han mejorado sustancialmente en los últimos años, el 70% de su población piensa que el estado de sus carreteras es deplorable y que estos problemas se presentan principalmente por falta del mantenimiento y debido al deficiente diseño de mezclas utilizado en la construcción de estas

vías. Así mismo se estima que la inversión estatal es del 54.2% y de la empresa privada del 26.8%.

Así mismo, Rodríguez, E. (2009) en su investigación nos mencionaba que:

Las carreteras construidas con pavimentos flexibles, como también se le conoce al pavimento asfáltico, solo ofrecen un servicio de larga data si están sujetos a un plan de mantenimiento periódico efectivo y a un eficiente diseño estructural, cuando no se lleva a cabo ello, las carreteras muchas veces quedan literalmente en un “completo y absoluto abandono” y esta es la principal razón de su deterioro total. Cuando se construyen carreteras con pavimento asfáltico generalmente se hace para un periodo de vida útil de 15-20 años sin embargo si este mantenimiento no es el adecuado el deterioro será acelerado.

Precisamente, en virtud de todo ello, este estudio tiene por objeto el análisis en laboratorio para la obtención de la mezcla asfáltica adecuada que brinde mejores propiedades y una mayor vida útil del pavimento ya que solo llevando a cabo estudios y controles requeridos podremos asegurar que nuestras pistas tengan una duración más prolongada brindando un nivel de servicio óptimo a los usuarios.

Las sobrecargas repentinas a la que son expuestas las estructuras viales y de alguna manera no planificadas, han acortado la vida útil de los pavimentos y han aumentado el costo de mantenimiento y los riesgos para los usuarios.

Por ello, González (2016), como se citó en Bañez (2020) en su trabajo de investigación: Análisis de capacidad y nivel de servicio de la vía Chavín – San Marcos, Huari, Ancash 2020, cuyo objetivo era investigar y evaluar las condiciones del pavimento, indicó que en la evaluación de esta vía se observó que el estado de ellas estaba en mayor

porcentaje entre excelente y muy bueno debido a un trabajo planificado y bien estructurado que va desde la selección de los agregados hasta la obtención de la mezcla asfáltica.

“El tramo de vía evaluado presenta tres estados de deterioro: en un estado Excelente 85.71%, Muy Bueno 10.71% y en un estado Bueno el 3.57% del tramo evaluado”.

Inclusive se recomendó para que, en un periodo de 6 a 12 meses, se vuelva a realizar una nueva medición para la obtención de una nueva curva de evaluación de propiedades del pavimento. Esto deja entrever la preocupación que existe por el análisis y cuidado de las vías en ese país.

Según Polacco et al (2015), el propósito de la utilización de los polímeros en los asfaltos se da como parte del mejoramiento en la infraestructura vial cuya finalidad es mejorar el pavimento, específicamente sus propiedades mecánicas, y forman estas estructuras viales más resistentes.

### **1.1.2. Realidad problemática regional**

(EMB Construcción, 2022) En Chile, la red de carreteras se extiende en un total de 80.443 kms, de los cuales tan sólo el 22% se encuentra pavimentado, ello demuestra el enorme desafío del gobierno por generar un plan que ayude a mejorar la infraestructura vial requerida por su parque automotor y pensando en que estas deben ser eficientes y mitigar de algún u otro modo la inclemencia de la naturaleza y que mejor que un pavimento que tenga la capacidad de disminuir de alguna manera los daños que podría ocasionarle, el uso de mezclas asfálticas altamente modificadas puede aminorar los impactos de la naturaleza, haciéndolas más resistentes al intemperismo, radiación solar, lluvias, entre otros.

En tal sentido Vila R. et al (2018), hacen una mención importante sobre la importancia de la modificación de los asfaltos con polímero, de cómo las propiedades

adquiridas le otorgan mejores cualidades que evitan el daño prematuro por fisuras a diferencia de los asfaltos convencionales, que en otros países inclusive de la región hace muchos años han quedado relegado por este tipo de tecnologías. (Revista Lasallista de Investigación, 2018).

### **1.1.3. Realidad problemática nacional**

(Perú 21, 2013) El incremento del poder adquisitivo de los peruanos tuvo un impacto en la adquisición de vehículos. “Para darnos una idea, en el 2012 se vendieron más de 190 mil vehículos en el país, según la Asociación de Representantes Automotrices del Perú (ARAPER)”. Ello desencadenó una sobrepoblación del parque automotor y por consiguiente un aumento en la capacidad de carga de los pavimentos flexibles para lo cual no estábamos preparados.

Respecto a ello Boza, J. (2022), en su estudio de tesis mencionó que:

En la ciudad de Huancayo, el Jirón Ricardo Palma presentaba deficiencias estructurales que afectaban la fluidez del tránsito perjudicando a los pobladores de la zona, sobre todo en épocas de lluvias. Debido a ello, la opción de utilizar el asfalto modificado con polímeros SBS se convertía en una muy buena alternativa otorgándole una mayor resistencia y elasticidad, prolongando así periodo de funcionamiento y reduciendo costos de mantenimiento a las vías.

Del mismo modo Gamarra, R. (2015) nos indicaba que:

Para la ejecución del mejoramiento de la avenida Néstor Gambetta en el Callao, se utilizó un asfalto modificado con polímero SBS, precisamente considerando las altas cargas de los vehículos de alto tonelaje que transitan por estas vías las cuales sirven de acceso hacia el terminal marítimo, convirtiéndose en una obra muy importante ya que abarcaba a toda la



zona destinada al comercio marítimo a nivel nacional e internacional convirtiéndola en una vía más segura y transitable.

Desde hace varias décadas, los polímeros SBS vienen siendo utilizados en la modificación de los asfaltos incrementando sus propiedades físicas y reológicas, sin embargo, en países como el nuestro esta tecnología no es muy difundida. (M&D Corporación Asociados S.A.C., 2013 citado por Alvarado y Francia, 2021).

De ello podemos rescatar cuán importante es investigar y difundir sobre el uso de nuevas tecnologías que nos ayuden en la transformación y mejoramiento de nuestras vías y hacerlas más resistentes a altos tránsitos como lo significa una zona industrial, una zona portuaria, donde a diario circulan camiones y vehículos de gran capacidad de carga.

La modificación de asfaltos consiste en la adición de polímeros a un asfalto convencional con la intención de mejorar sus propiedades fisicoquímicas, su uso en pavimentos conlleva a mejorar el desempeño y a alargar el tiempo de vida de estos. (Palma et al, 2015).

Aquí en el Perú, gran parte de la infraestructura vial urbana no están adecuadas para el crecimiento actual y desmedido de nuestro parque automotor. Es decir que no son las más adecuadas y muchas veces no cumplen con las condiciones para las cuales fueron construidas. Estas deficiencias tienen que ver, en muchos casos con la calidad de materiales utilizados: los áridos (calidad, forma y dureza de los agregados), el tipo de asfalto (convencional o modificado), métodos constructivos, entre otros.

#### **1.1.4. Realidad problemática local**

En el Diagnostico Integral Participativo del Distrito de Lurín 2010-2012, Volumen I, pagina 52, realizado por la Municipalidad de Lurín, sobre la Falta de Vías Pavimentadas, se menciona que:

Se tiene alrededor del 55% de vías sin pavimentar en las zonas suburbanas ubicadas cerca de Lurín, las cuales no se encuentran debidamente pavimentadas. Lamentablemente, en muchos casos la falta de pavimentación en las vías genera zonas inseguras donde predominan el hacinamiento y delincuencia. Por tal motivo se viene incrementando la cantidad de vías pavimentadas siendo estas aun insuficientes.

La Av. Industrial, ubicada en el distrito de Lurín, es una vía que conduce hacia la Zona Industrial donde se encuentran la mayor cantidad de las fábricas y empresas ubicadas en este distrito. Es una vía muy transitada por vehículos pesados. Es por ello la necesidad de un pavimento de alta resistencia que sea capaz de soportar este tipo de cargas.

Esta investigación está centrada en la zona y avenida especifica ubicada en el distrito de Lurín, en el departamento de Lima, por la cual transitan a diario camiones y tráileres de alto tonelaje.

Es así como, en este aspecto, nos enfocaremos en el diseño y evaluación del desempeño de la mezcla asfáltica producida con el asfalto modificado con polímeros SBS BETUTEC 60/85 frente a la mezcla asfáltica producida con el asfalto convencional PEN 60/70 Plus, mediante los ensayos de Rueda de Hamburgo, Módulo Resiliente y Vida Fatiga y así poder determinar la mejor opción que nos permita obtener un mayor tiempo de vida útil.

Respecto a ello, de la publicación: Identificación de Fallas en Pavimentos y Técnicas de Reparación MOPC, 2016, podemos decir que:

Actualmente podemos evidenciar una vía con un pavimento totalmente dañado cuyas posibles causas de su mal estado se pueden deber, en primer lugar, a la falla por fatiga ocasionada por el alto tránsito y tráfico a la cual es sometida. Otra causa probable puede deberse a una falla estructural, al no haberse realizado un riguroso estudio de suelos y finalmente, una última causa probable puede ser la utilización de materiales de baja calidad entre ellos podemos mencionar a los áridos y el asfalto de bajo performance.

A consecuencia de la inadecuada disposición de recursos y en la elección de los materiales se han generado fallas permanentes en el pavimento lo que hace que la vía se torne intransitable y se genere un cuello de botella a ciertas horas del día. Estas fallas estructurales implican una deficiencia y se reflejan en la baja servicialidad y el deterioro de los vehículos y neumáticos.

## **1.2. Antecedentes de investigación**

### **1.2.1. Antecedentes internacionales**

Walker, D. (2014). nos menciona sobre los beneficios de utilizar los asfaltos modificados para mitigar en gran medida la severidad de las fallas en los pavimentos flexibles y mejorar su vida útil.

El principal beneficio de usar estos asfaltos de alto rendimiento es una mejor resistencia a la formación de surcos, con menos agrietamiento térmico (temperatura fría) y una mayor durabilidad general de la mezcla como beneficios secundarios.

Además, algunos aglutinantes modificados brindan una mejor resistencia al decapado (daño por humedad).

Narrativamente, muchas agencias estiman que una expectativa razonable es de cuatro a seis años adicionales de vida útil del pavimento de un pavimento construido con un ligante de asfalto modificado. (Walker, D., 2014)

Ahmadinia et al, (2012) como se citó en Guerrero (2019), en su publicación, destacaba el enorme interés que había en esos años, por la construcción de pavimentos de alto rendimiento capaces de soportar una mayor afluencia de vehículos, aumento de velocidad de desplazamiento e incremento en su capacidad de carga.

Vázquez (2010), como se citó en Valdivia (2017), nos menciona que tuvo como principal objetivo hacer un comparativo en el desempeño de la mezcla asfáltica convencional con la mezcla asfáltica con asfalto modificado y en exponer las ventajas sobre la utilización de este último tanto a nivel de performance como otros que tienen que ver prácticamente con el balance costo-beneficio que ello implica y del como esta tecnología era muy demandada en países en Europa y América del norte.

En el Boletín Técnico de Lanamme, Asfaltos Modificados con Polímeros: el estado de la practica en Costa Rica (2014), Volumen 5, N° 59, se menciona:

Es importante realizar un análisis que nos permita determinar la necesidad de utilizar el asfalto adecuado, medir su grado de desempeño mediante pruebas reológicas que justifiquen el uso del polímero en el asfalto lo cual lo hará menos susceptible a las distintas variables a las que se puede ver expuesta (deformación permanente, fisuramiento, oxidación, entre otros).

Este incremento en las propiedades físicas y reológicas que le otorga el polímero SBS a los asfaltos, mejora el desempeño de la mezcla asfáltica y esto se ve reflejado en una mayor

vida útil, una mejor resistencia a las gradientes térmicas, al envejecimiento por los rayos ultravioletas y, de acuerdo con el porcentaje de polímero, hacerlo más resistentes al someterlos a altas cargas y tránsito vehicular.

Casanova, W. (2017) Determinación de una metodología para caracterizar asfaltos modificados con polímero usados en pavimentos flexibles. Nos habla sobre como mejoran de las propiedades en los asfaltos cuando se les incorpora el polímero y sobre los beneficios de su utilización en la industria vial.

### **1.2.2. Antecedentes nacionales**

Herrada y Chávez (2013), en su tesis de investigación, “Uso de polímeros en el asfalto y su influencia en la variación de un pavimento”, detectaron que la mayor parte de nuestras vías son intransitables debido al deterioro producido por las altas cargas de tráfico que estas deben soportar, así como por los diversos tipos de clima y factores ambientales a las cuales están expuestas. Por ello, realizaron una serie de evaluaciones experimentales para lograr determinar en cuanto se incrementaban las propiedades de los pavimentos flexibles utilizando porcentajes de polímero en los asfaltos, llegando a establecer un nivel de superioridad frente a los asfaltos convencionales, logrando de alguna u otra forma transmitir sus alcances y mostrarnos cómo con la utilización de los polímeros podríamos construir pavimentos más resistentes y con un mayor tiempo de vida útil.

Valdivia (2017), en su tesis titulada “Análisis del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente incorporando polímeros SBS en la Av. Universitaria cuadra 53 al 57- Comas, Lima 2017” citó a Salcedo (2008), quien a su vez concluyó en, que el uso de los polímeros SBS en los asfaltos incrementaban sus características mecánicas y los hacían más resistentes al intemperismo, a las deformaciones permanentes, incrementaba en

un 40% su punto de ablandamiento, reducían al mínimo el daño por fatiga y las fisuraciones prematuras, se aumentaba en 80% su recuperación elástica lineal, es decir todas sus propiedades mecánicas mejoraban.

Chávez (2017) en la tesis “Análisis de la carpeta asfáltica modificada con polímero SBS en el clima frígido de la región Junín – Yauli. 2017” citó a Rodríguez (2008), quien afirmó que, tras haber realizado un análisis comparativo entre las mezclas asfálticas modificadas con polímeros y las mezclas asfálticas convencionales, concluyo que las primeras alcanzan una mejor performance, debido a que esta adición del polímero le añaden mejores propiedades mecánicas haciéndolos más resistentes. Con ello se demuestra que los polímeros SBS les otorgan a los asfaltos esa propiedad elástica de alta resistencia a la fisuración y la deformación plástica.

Condor, J. (2014), en cuya tesis titulada “Comportamiento del asfalto PEN 85/100 modificado con polímeros SBS aplicado en el mantenimiento de carreteras costeras - Aplicación Sullana - Aguas Verdes”, nos habla sobre las bondades que ofrecen los asfaltos modificados con polímeros SBS frente a las diversas zonas climatológicas existentes en el Perú y lo conveniente que resulta la utilización de esta tecnología para la construcción de los pavimentos y de cómo en casi todo Latinoamérica se viene utilizando con óptimos resultados, resaltando el desempeño obtenido en la prueba de deformación permanente con la rueda de Hamburgo y la resistencia a la fatiga con la prueba de vida fatiga.

Por su parte López y Veloz (2013), en su tesis titulada: “Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba”, realizó estudios de investigación modificando a los asfaltos convencionales con polímeros SBS (estireno-butadieno-estireno) y SBR (caucho estireno-

butadieno), con la finalidad de realizar comparativos en cuanto al incremento de propiedades y del desempeño alcanzado luego de los procesos de modificación.

Así mismo Espinos (2016), nos comenta sobre las consideraciones que debemos tener en la elección del tipo, forma, dureza y gradación de los agregados (propiedades físicas) para ser considerados como “aptos” en la participación del diseño de mezclas ya que de ello también dependerá la resistencia a la deformación permanente, fatiga y del tiempo de vida útil del pavimento asfáltico.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿En cuánto aumenta las propiedades cuando se utiliza el asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85 en el mejoramiento del pavimento flexible de la Av. Industrial, distrito de Lurín?

#### **1.3.2. Problema específico**

- a) ¿Qué propiedades volumétricas tendrá una mezcla con asfalto convencional y una mezcla con asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85?
- b) ¿Qué estabilidad y flujo se obtendrán de la mezcla con asfalto convencional y de la mezcla con asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85?
- c) ¿Qué resultados presentarán la mezcla con asfalto convencional y la mezcla con asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85 a la prueba de Lottman?
- d) ¿Cuál será la resistencia a la deformación permanente de la mezcla con asfalto convencional y de la mezcla asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85?
- e) ¿Cuál será el módulo de resiliencia de la mezcla con asfalto convencional y de la mezcla con asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85?

- f) ¿Cuál será la vida fatiga de la mezcla con asfalto convencional y de la mezcla con asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85?

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivos generales**

Evaluar las propiedades de la mezcla asfáltica modificada con polímero sbs betutec 60/85 en el diseño del pavimento flexible en la Av. Industrial, Lurín, Lima, 2022.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Diseñar la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85.
- b) Realizar los ensayos de acuerdo con las normas técnicas de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85.
- c) Analizar los resultados de las propiedades de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis generales**

La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS obtendrá mejores propiedades en el diseño del pavimento flexible de la Av. Industrial, distrito de Lurín.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a) La mezcla con asfalto modificado con polímero SBS obtendrá mejores propiedades volumétricas.
- b) La mezcla con asfalto modificado con polímero SBS tendrá buenos resultados de estabilidad y flujo.



- c) La mezcla con asfalto modificado con polímero SBS tendrá mejores resultados en la prueba de Lottman.
- d) La mezcla con asfalto modificado con polímero SBS mostrará una mayor resistencia a la deformación permanente.
- e) La mezcla con asfalto modificado con polímero SBS tendrá buenos resultados de módulo de resiliencia.
- f) La mezcla con asfalto modificado con polímero SBS presentara un mayor desempeño en la prueba de vida fatiga.

## **1.6. Justificación de la investigación**

La presente investigación se justifica con el estudio bibliográfico de tesis nacionales e internacionales y artículos de investigación donde realizaron ensayos de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS donde se recaudará los resultados obtenidos de la aplicación en zonas cálidas y frías del Perú. (Alarcón & Cárdenas, 2021).

### **1.6.1. Justificación teórica o científica**

En esta investigación se da a reconocer que el polímero en pavimentos flexibles genera mejor consistencia en la carpeta asfáltica siendo más eficiente que el diseño asfáltico convencional, debido que minimiza el uso de recursos no renovables (Paiva y Ramos, 2013). La presente investigación se justifica en base a los distintos estudios realizados sobre la evaluación de las propiedades del asfalto modificado con polímeros SBS en la construcción de un pavimento flexible que demuestran un mejor desempeño del pavimento por el aporte que le otorga el polímero elastomérico SBS a los asfaltos el cual está demostrado científicamente.

### **1.6.2. Justificación metodológica:**

Los resultados que se obtendrán en este proyecto de investigación darán a conocer que la infraestructura vial será más viable y segura, gracias al innovador material como es el polímero optimizando las condiciones de la carpeta asfáltica y así proporcionar una mejor economía para el país (Infante y Vásquez, 2016).

La construcción de un pavimento flexible con el asfalto modificado con polímero SBS la hará menos susceptible a la deformación permanente y más resistente a la fatiga y esto se va a ver reflejado en el mantenimiento de esta lo que significará un ahorro a mediano y largo plazo.

### **1.6.3. Justificación practica o social:**

El progreso y desarrollo sostenible de un país debe consistir en la relación de los países en el ámbito del comercio tanto nacionales como internacionales, contribuyendo intercambios de productos las cuales serán innovadores para cada país, generando competencias y demandas, las cuales ayudan a que un país avance progresivamente y su economía ascienda (Silvestre, 2017).

La necesidad de replantear las características del pavimento que se extiende a lo largo de la Av. Industrial en Lurín se hace verdaderamente prioritaria. Las fallas estructurales evidenciadas con las fisuras y baches plenamente visibles en la vía, hace que afecten a los vehículos que circulan diariamente por esta zona causando el deterioro y fallas en sus vehículos. Con la obtención de resultados satisfactorios se demostrará que el asfalto modificado con polímero SBS ofrece una alternativa confiable y practica en el diseño del pavimento flexible mejorando su resistencia, menor susceptibilidad a la humedad y un mayor tiempo de vida útil.

## **1.7. Marco conceptual**

### **1.7.1. El asfalto**

#### **a) Definición**

El asfalto es un material termoplástico constituido por una mezcla compleja de hidrocarburos de elevado peso molecular, que se puede encontrar de forma natural y/o por refinación del petróleo.

Según el Instituto del Asfalto, determina que el asfalto es un producto de color negro, conformado por la destilación del petróleo.

La ASTM define al asfalto como un aglutinante con variada consistencia y viscosidad, de un color oscuro y que halla de forma natural y/o por destilación del petróleo.

#### **b) Asfalto natural**

Grupo Bitafal, (2018) como se citó en Kirk et al, 1961). El asfalto natural es extraído del subsuelo y en ocasiones está mezclado con otra materia mineral (arena, arcilla, rocas). Es frecuente encontrar asfaltos naturales en forma de lagos, por ejemplo, en Venezuela se halla el lago Bermúdez y en Trinidad y Tobago encontramos el lago La Brea.

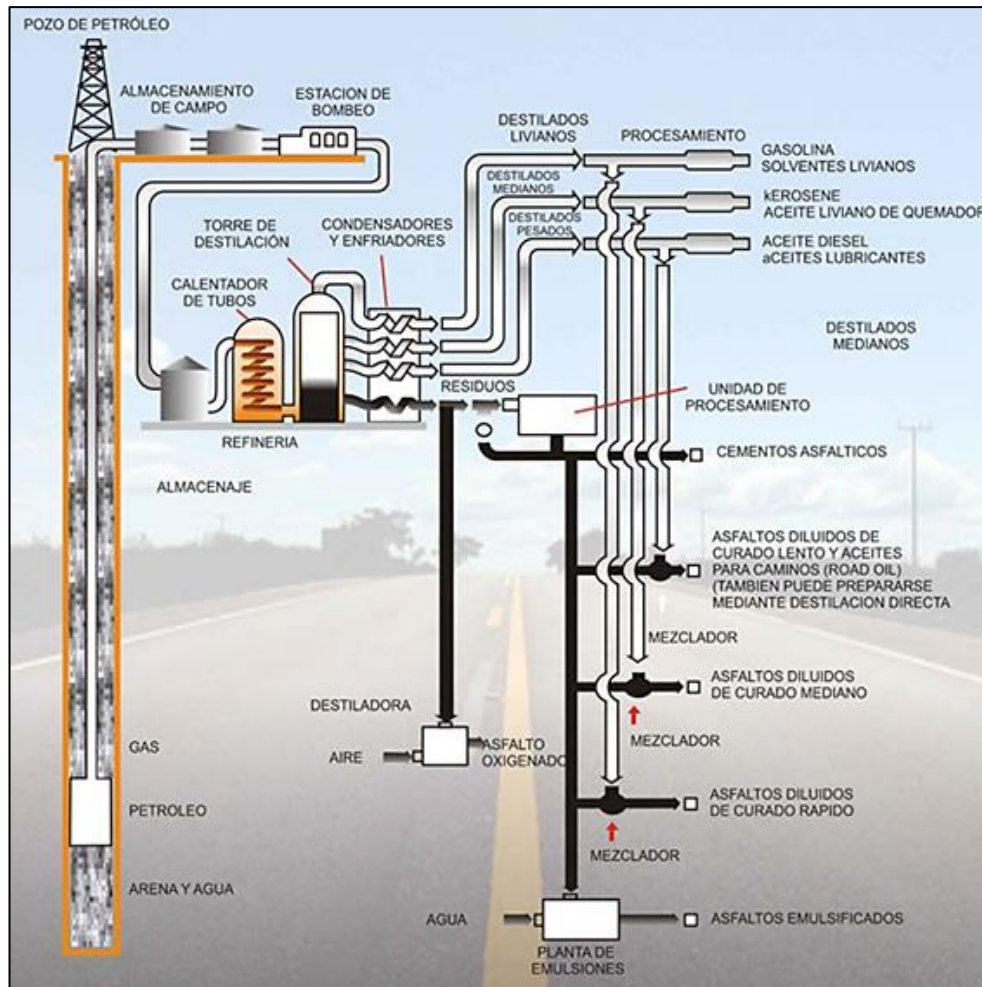
Imagen 1. Lago de asfalto en Trinidad y Tobago. Fuente: [escuelaparatodos.cr](http://escuelaparatodos.cr)



### c) **Asfalto destilado del petróleo**

El asfalto o bitumen, es un producto derivado del petróleo el cual es extraído de la destilación de petróleo. Es utilizado principalmente en la industria de la pavimentación. (Otárola, V., Asfalto Perú, 2019).

Imagen 2. Diagrama de flujo para asfaltos destilados del petróleo. Fuente: Petroperú.



### 1.7.2. Clasificación de los cementos asfálticos

Imagen 3. Diagrama de clasificación del asfalto. Fuente: Elaboración propia.



### a) Cemento Asfáltico

Es un producto que se obtiene de la destilación del petróleo, es utilizado como material aglomerante, es visco elástico, de color negro y de comportamiento termoplástico ya que se ablanda gradualmente con el calor. Estos son utilizados principalmente en obras de vialidad, en la construcción de carreteras, autopistas, aeropuertos, debido a sus propiedades aglutinantes, impermeabilizantes, flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a los ácidos, álcalis y sales.

En el Perú se clasifican de acuerdo con su grado de penetración a 25°C.

Los tipos de Cementos Asfálticos más comercializados son:

- Cemento asfáltico 60/70
- Cemento asfáltico 85/100
- Cemento asfáltico 120/150

Imagen 4. Cemento asfáltico. Fuente: Asfaltos company vial.



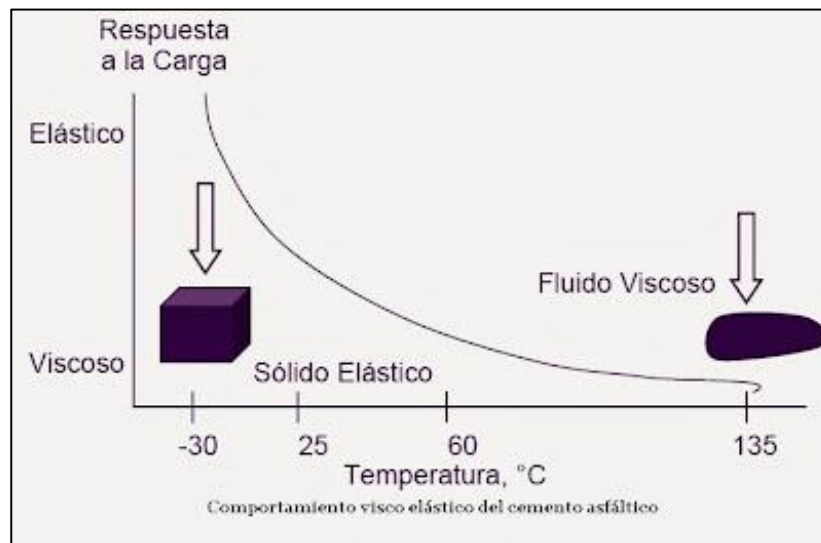
### b) Propiedades

Según el Asphalt Institute, el cemento asfáltico posee diversas propiedades reológicas físico-mecánicas:

- **Viscosidad:** Es determinada por la fluidez del asfalto. La viscosidad del

asfalto se mide con el viscosímetro capilar cinemático medido en CentiStokes cSt. También se puede utilizar el viscosímetro rotacional Brookfield que por medio de un procedimiento de resistencia a la torsión determina la viscosidad y esta es medida en unidades Centi Poises (cP)

Imagen 5. Comportamiento viscoelástico del asfalto. Fuente: elcementoasfaltico.blogspot.com



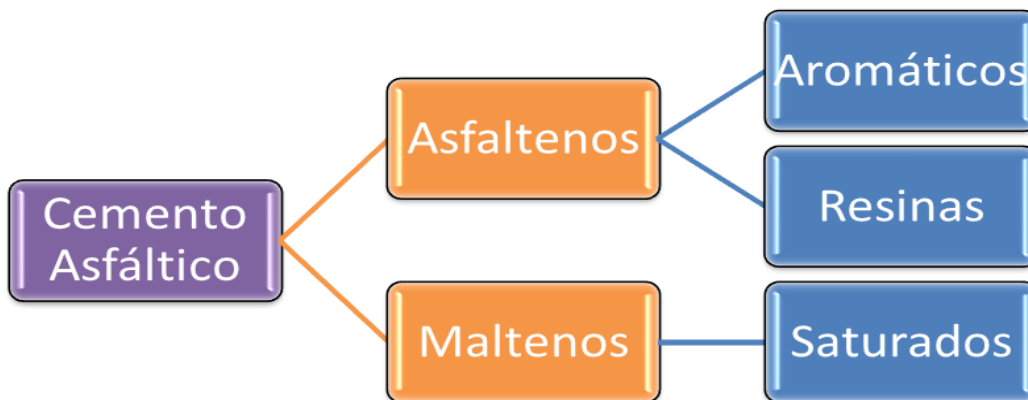
- **Elasticidad:** Es la capacidad de recuperación que poseen los asfaltos cuando estos son deformados.
- **Resistencia al corte:** Esta capacidad es determinada por medio de un reómetro dinámico, con el cual se imprime una fuerza cortante cosenoidal y se mide la resistencia a determinadas temperaturas. Esta propiedad es utilizada por la metodología Superpave con el cual determinamos el PG alto.
- **Ductilidad:** La ductilidad les permite a los asfaltos tener mejores propiedades aglomerantes. Los asfaltos con una ductilidad muy alta son más propensos a los cambios de temperatura.
- **Pérdida de masa:** Los asfaltos están compuestos por aromáticos y aceites

que son los que le proporcionan la capacidad de ser dúctiles y elásticos. Cuando se pierden estos componentes aromáticos y los aceites, el asfalto se torna más rígido, viscoso y con menos propiedades elásticas. Mediante la pérdida de masa se determina cuanto afecta a sus propiedades la pérdida de estos componentes.

### c) Composición química del asfalto

La ilustración 6 nos puede dar una idea rápida y práctica de cómo están conformados químicamente los asfaltos.

Imagen 6. Composición química del cemento asfáltico. Fuente: Elaboración propia.



- **Asfaltenos:** Son estructuras de compuestos aromáticos de color oscuro, está conformados por el nitrógeno, azufre, oxígeno.
- **Maltenos:** Son solubles en hidrocarburos saturados y está compuesto por resinas, saturados y aromáticos.
- **Aromáticos:** Su función es la de actuar como disolvente de otras cadenas en los hidrocarburos de alto peso molecular.
- **Resinas:** Estas sustancias son muy polares, sólidas y solubles, compuestos de hidrocarburos y pequeñas fracciones de nitrógeno,



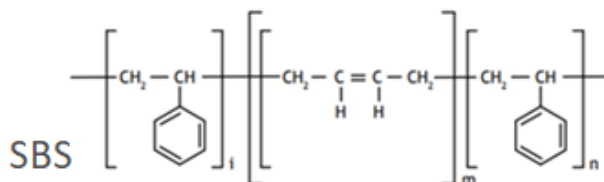
oxígeno y azufre.

- **Aceites saturados:** Estos no cambian a medida que pasa el tiempo y afectan la susceptibilidad térmica y esta sustancia se encuentra como líquida a temperatura ambiente.

### 1.7.3. Polímeros SBS

El polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) es un elastómero tipo radial tribloque, que mejora el comportamiento de las mezclas asfáltica a temperaturas extremas. Es utilizado en mezclas asfálticas con altos índices de tránsito, puede ser empleado en zonas donde existan climas fríos y cálidos. (F. Araya, et al., 2012).

Imagen 7. Composición química del polímero SBS. Fuente: mexpolimeros.com



### 1.7.4. Asfaltos modificados con polímero

Los asfaltos modificados con polímeros SBS, son obtenidos a partir de la

incorporación de polímero en el cemento asfáltico. Los asfaltos son modificados para mejorar las propiedades viscoelásticas del asfalto y, de esta forma, poder mejorar su comportamiento y prolongar su vida útil. (TDM Asfaltos, 2022).

Por lo general las propiedades que se intentan mejorar son la rigidez, el ahuellamiento, la resistencia a la fatiga y al envejecimiento, así como disminuir la susceptibilidad térmica y el daño por humedad. (Rondón y Reyes, 2015, tal como se citó en Villamil E. & Ortiz S., 2020).

En general, el polímero SBS mejora las propiedades del asfalto convencional, permitiendo incrementar su punto de ablandamiento, mejorar su recuperación elástica y disminuir su penetración. Así mismo, mejora su resistencia a la fatiga y los módulos de resistencia a las cargas dinámicas producidas por el tráfico.

#### **1.7.5. Ventajas de la modificación del asfalto**

Entre las ventajas más resaltantes podemos mencionar las siguientes:

- Mejor resistencia a la deformación plástica.
- Aumenta sus propiedades elásticas
- Favorece la adherencia en la mezcla asfáltica entre los agregados y el asfalto.
- Favorece la susceptibilidad a los cambios bruscos de temperatura (gradiente térmica.)
- Mayor resistencia al envejecimiento a corto y largo plazo (RTFOT y PAV).
- Incrementa el PG y el creep MSCR del asfalto.
- Eleva el desempeño de la mezcla asfáltica en resultados de rueda de Hamburgo, módulo de resiliencia, vida fatiga entre otros.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo y diseño de investigación**

#### **2.1.1. Tipo**

Según Von Braun (2014, p. 2), menciona que:

“La investigación aplicada trata de buscar temas específicos dentro de un amplio mundo de conocimientos.”

Debido a esta aseveración podemos decir que esta investigación es de tipo aplicada, ya que el tema específico es el desarrollo de la evaluación de las propiedades de la mezcla asfáltica con polímeros SBS Betutec 60/85, para lo cual nos basaremos en resultados obtenidos de las pruebas realizadas en laboratorio. Mediante la realización de este trabajo de investigación se pretende brindar una alternativa que ayude a buscar una solución al problema que presenta hoy en día el pavimento asfáltico de la Av. Industrial, Lurín.

#### **2.1.2. Diseño**

Según Hernández, et al (2010), nos dice que:

“Se conoce que los diseños experimentales son utilizados cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula”.

El diseño de la presente investigación es experimental, ya que estará basada en la realización de pruebas metódicas y estandarizadas según procedimientos contemplados en las normas y especificaciones técnicas actuales, todo ello para la obtención de resultados y con la finalidad de responder la pregunta de investigación en función de los experimentos realizados.

## 2.2. Variables de operacionalización

Esta investigación comprende un análisis comparativo de la medición del desempeño entre la mezcla asfáltica convencional con cemento asfáltico Pen 60/70 Plus y la mezcla asfáltica modificada con cemento asfáltico modificado con polímero SBS Betutec 60/85.

### 2.2.1. Variables:

#### **Variables independientes:**

- Diseño de mezcla asfáltica convencional con asfalto Pen 60/70 Plus
- Diseño de mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85

Estas variables son independientes porque son quienes van a definir el cambio en las propiedades de la carpeta asfáltica ya como pavimento flexible.

#### **Variables dependientes:**

- Propiedades de las mezclas asfáltica convencional con asfalto Pen 60/70 Plus.
- Propiedades de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85.

Estas variables son dependientes porque las propiedades del pavimento serán determinadas según las mezclas asfálticas elaboradas.

## 2.3. Población y muestra

### 2.3.1. Población

La población está determinada por la cantidad de especímenes de prueba de cada tipo de ensayo a realizar. Así mismo, teniendo en consideración que se evaluarán dos diseños de mezcla asfáltica tenemos:

Tabla 1. Población de la investigación. Fuente: Elaboración propia

Ensayo	Norma	Cantidad de especímenes
Diseño de mezcla asfáltica en caliente	ASTM D1559	40
Lottman	AASHTO T283	12
Rueda de Hamburgo	AASHTO T324	8
Módulo Resiliente	AASHTO TP31	6
Vida Fatiga	AASHTO T321	2

### 2.3.2. Muestra

En nuestro caso la muestra de estudio está conformada por la misma población, es decir los mismos especímenes elaborados con las mezclas asfálticas en evaluación.

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

La técnica e instrumentos de recolección de datos estará alineada de acuerdo con mis objetivos específicos:

### 2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Según Arias (2012, p. 67), menciona que:

“Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”.

La técnica de recolección de datos utilizada en esta investigación es la Observación Participante ya que formé parte en el desarrollo de la investigación,

realicé las pruebas en laboratorio y tuve una participación en la obtención de resultados.

#### **2.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos utilizados en esta investigación son:

- a) Para describir la problemática real de la zona de estudio, se llevó a cabo una inspección visual a la Av. Industrial en el distrito de Lurín y se evidenciaron por medio de imágenes fotográficas el nivel de daño estructural del pavimento asfáltico, confirmando que existe una necesidad en la reparación de esta vía por la cual transitan a diario una cantidad importante de vehículos de carga.
- b) Para la elaboración del diseño de mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85, los instrumentos utilizados como parte de los recursos a disposición y que acreditan nuestra investigación, son las Especificaciones Técnicas EG-2013, manual de Ensayo de Materiales EM-2016.
- c) Para realizar los ensayos de acuerdo con las normas técnicas de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85, utilizamos las Normas ASTM, normas AASHTO.
- d) Analizar los resultados de las propiedades de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85, utilizamos las Normas ASTM y las normas AASHTO.

Así mismo se utilizaron los equipos y formatos de ensayo del laboratorio de TDM Asfaltos para la obtención, recolección, almacenamiento y registro de datos.

### **2.4.3. Validez**

Hayes (2002) indica:

“Una investigación tiene un alto nivel de validez si al observar, medir o apreciar una realidad, se observa, mide o aprecia esa realidad y no otra”.

En tal sentido, los procedimientos e instrumentos utilizados en la presente investigación corresponden a metodologías estipuladas por normas técnicas internacionales en las cuales se indican los requisitos mínimos que se deben cumplir para otorgarle la validez pertinente a los ensayos y demás pruebas realizadas.

### **2.4.4. Confiabilidad del instrumento**

Según Ruiz (2002) indica que:

“Un instrumento es confiable cuando mide consistentemente el objeto que pretende medir”.

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación estuvieron de acuerdo con las actividades realizadas, mediante los cuales pudimos establecer un proceso de recolección de datos. Se utilizaron formatos de laboratorio de ensayos, equipos e instrumentos de medición los cuales cuentan con certificados de calibración y verificación, asegurando la confiabilidad de las mediciones obtenidas. Empresas como Metroil y Cadent son las encargadas de asegurar que estas mediciones realizadas sean confiables.

## **2.5. Implicancia**

La implicancia de este trabajo de investigación está enfocado a la importancia que tiene el pavimento en estudio el cual sirve de vía de acceso a toda la zona industrial de esta parte de Lurín, a las fábricas complejos industriales. La rehabilitación de esta

importante vía se hace necesaria para mejorar el tránsito y evitar los daños a los vehículos que la transitan.

## 2.6. Limitaciones

El presente trabajo de investigación fue realizado casi en su totalidad en un laboratorio de ensayos de materiales, ya que, para las pruebas y análisis de los agregados, caracterización de los asfaltos y la medición de los ensayos de performance de las mezclas asfálticas compactadas, se requirió de materiales y equipos especiales que permitan su adecuada medición.

Las limitaciones halladas en este tipo de investigaciones se refieren específicamente a la disponibilidad de un laboratorio bien implementado con toda la infraestructura adecuada para la correcta medición de resultados. Muy importante es contar con equipos calibrados, ensayos realizados de acuerdo a norma y profesionales técnicos capacitados, es por ello que los trabajos fueron realizados de acuerdo a la disponibilidad del laboratorio.

## 2.7. Aspectos éticos

Según Penslar (1995), nos dice que:

“Ética en la investigación es un tipo de ética aplicada o práctica, lo cual se refiere a que esta trata de resolver problemas no meramente generales, sino también a los problemas específicos que surgen en la realización de la investigación”.

En cuanto a los aspectos éticos, en este trabajo de investigación se citan todas las fuentes bibliográficas.

La empresa donde se realizarán las pruebas, TDM Asfaltos, tiene certificación ISO que garantizan todos los procedimientos y resultados obtenidos.

Como referencia, todos los métodos y normas técnicas utilizadas al momento



de la realización de esta investigación son las actualizadas, esto asegura la correcta obtención de resultados.

## **2.8. Procedimientos de recolección de datos**

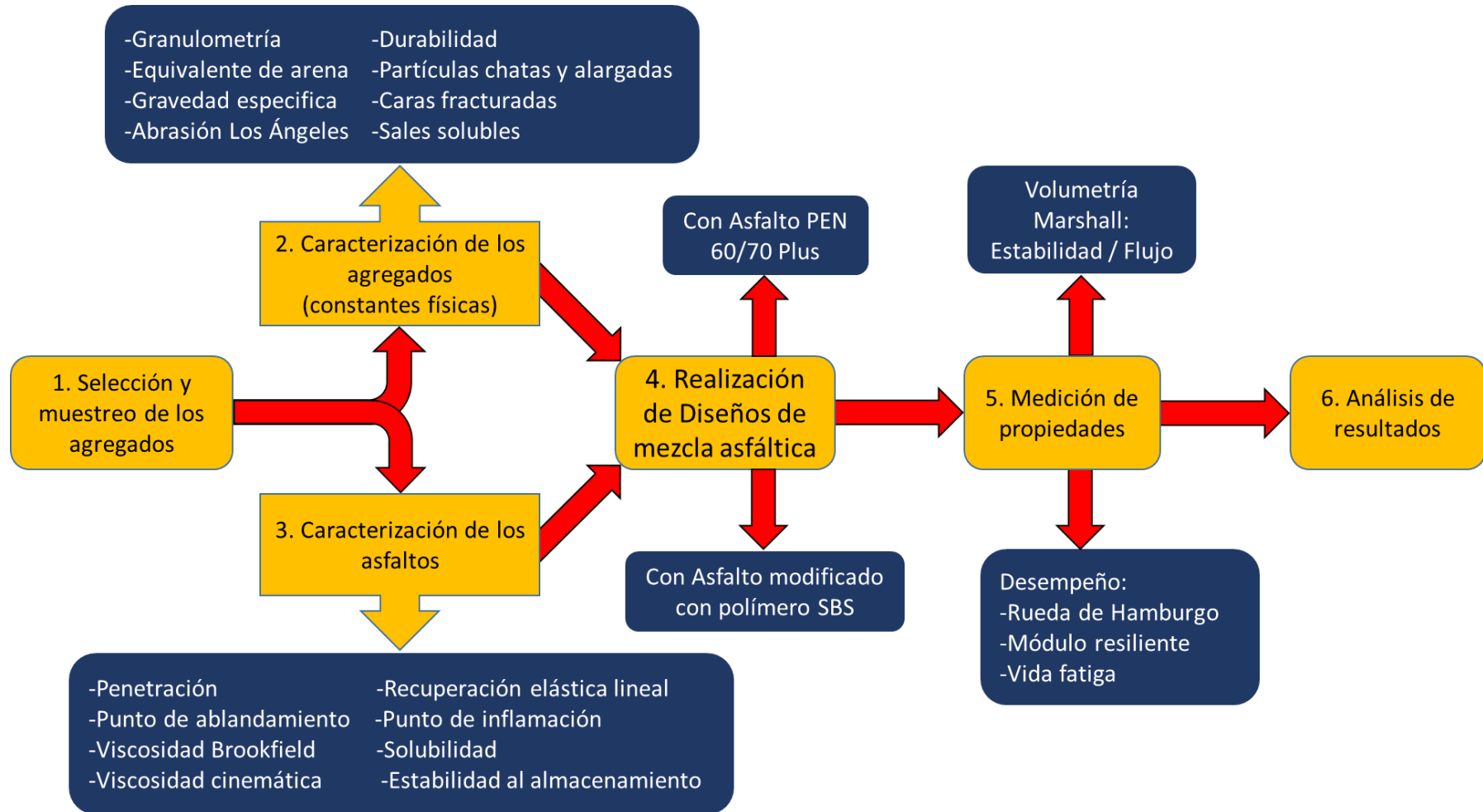
Según Tamayo y Tamayo (2001) indica que:

“La técnica de recolección de datos es la parte operativa del diseño investigativo. Hace relación al procedimiento, condiciones y lugar de la recolección de datos”.

Para la recolección de datos dispusimos de procedimientos y métodos de ensayos los cuales fueron realizados siguiendo un planeamiento de actividades:

1. Selección y muestreo de los agregados
2. Caracterización de los agregados
3. Caracterización de los asfaltos
4. Realización de los diseños de mezcla asfáltica.
5. Medición de las propiedades de las mezclas asfálticas
6. Análisis y discusión de los resultados obtenidos

Imagen 8. Procedimiento de recolección de danos. Fuente: Elaboración propia



## CAPITULO III: RESULTADOS

En este capítulo describiremos los resultados obtenidos en la presente investigación, mediante las pruebas realizadas en laboratorio, de acuerdo con los objetivos propuestos.

### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA REAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se realizó una inspección visual de la zona y se llegó a determinar la necesidad de reparación de una vía en completo abandono. La Av. Industrial en el distrito de Lurín requiere de una pronta intervención del estado, por ser una vía altamente transitada y servir como punto de comunicación con las empresas ubicadas en todo el sector de Las Praderas de Lurín, zona industrial que alberga a innumerables fábricas y que es a diario transitado por trabajadores y distintos vehículos.

Imagen 9. Área de estudio en el distrito de Lurín, departamento de Lima. Fuente: Google Maps

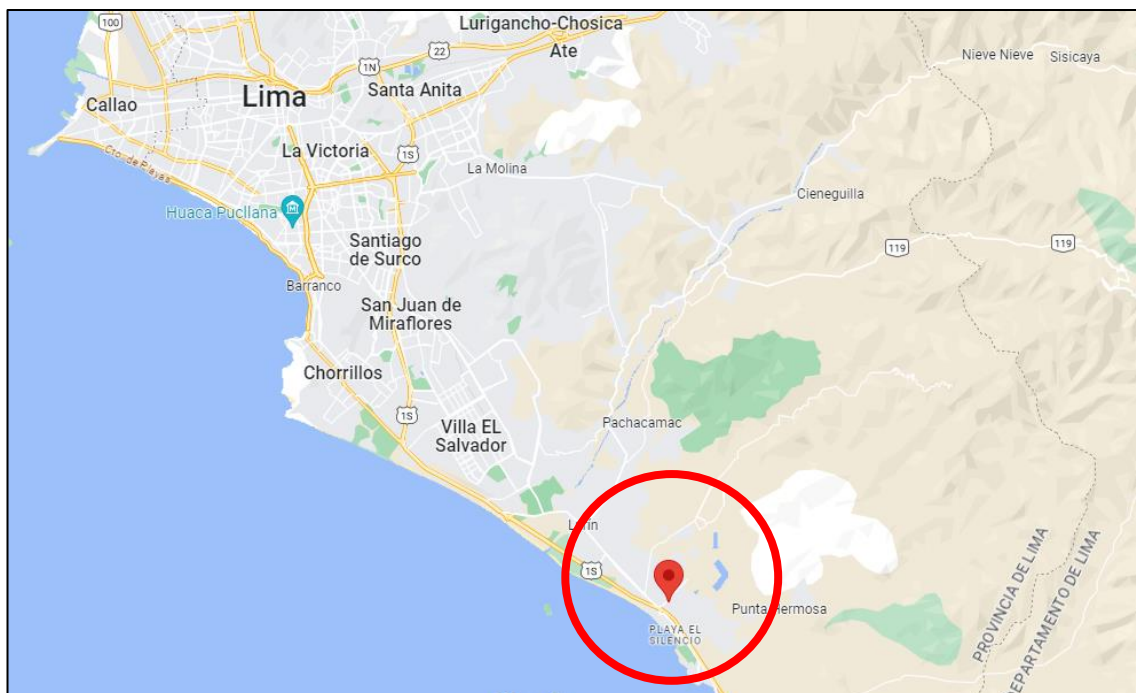
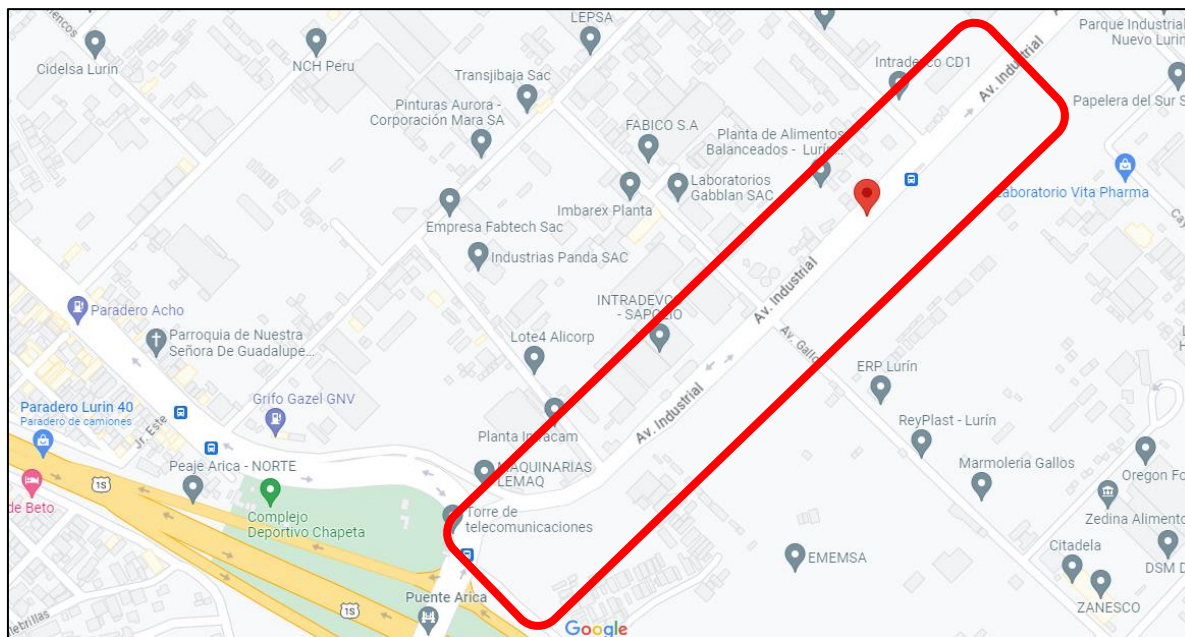


Imagen 10. Av. Industrial distrito de Lurín, departamento de Lima. Fuente: Google Maps



La imagen 10 nos muestra la ubicación exacta de la Av. Industrial en el distrito de Lurín.

Tabla 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia

Ubicación	Distrito	Coordenadas UTM
Av. Industrial, Lima 15823	Lurín	18L 300029E 8640063N

Un estudio realizado en esta zona por Paredes, G. (2021) nos proporciona datos sobre la capacidad portante del suelo y lo clasifica como muy bueno, con un CBR de 32.50. (vease anexo 1, imagen 15)

Esta información es muy relevante ya que nos informa sobre las condiciones del suelo y nos asegura que el área donde se pretende ejecutar este proyecto de pavimentación con nuestra propuesta de carpeta asfáltica con asfalto modificado es la más adecuada.

Por otra parte, el mismo estudio de investigación, nos menciona sobre el porcentaje de incidencia de los distintos tipos de vehículos que transitan por la Av. Industrial.

En la imagen 16 del anexo 1, podemos ver una gráfica con los resultados de un estudio de frecuencia vehicular realizado durante 7 días en la Av. Industrial, en el cual los autos en un 34% y los camiones en un 23%, lideran el porcentaje de incidencia vehicular, seguidos de los semi tráiler con un 16% y las camionetas con un 15%.

Las siguientes imágenes evidencian la condición de la vía.

Imagen 11. Condición actual de la Av. Industrial distrito de Lurín. Fuente: Propia



### 3.2. SELECCIÓN Y MUESTREO DE LOS AGREGADOS

Seleccionamos los agregados de la cantera Crushing, el muestreo se realizó



directamente del acopio de la cantera la cual está ubicada en el distrito de Lurín en la misma zona del proyecto, se hizo mediante el método MTC E201 Muestreo de materiales.

Imagen 12. Condición Ubicación de la cantera Crushing. Fuente: Google earth



Tabla 3. Ubicación geográfica de la cantera Crushing. Fuente: Elaboración propia

Ubicación	Nombre de Cantera	Coordenadas UTM
DisP5PF+Q9F, Lurín 15823	Crushing	18L 301345E 8643685N

### 3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

La caracterización de los agregados seleccionados pertenecen a la cantera Crushing, el muestreo se realizó directamente de la cantera la cual está ubicada en el distrito de Lurín en la misma zona del proyecto. Para realizar la reducción de muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo nos guiamos del método MTC E103

La caracterización de los agregados comprende una serie de ensayos los cuales nos servirán para asegurar la calidad de los agregados que formarán parte del diseño



de mezcla asfáltica.

Imagen 13. Agregados a utilizar en los diseños de mezcla cantera Crushing



Las tablas 4 y 5 contienen los requerimientos de ensayos que deben realizarse de manera obligatoria durante la etapa de caracterización a los agregados, con la finalidad de asegurar la calidad de estos y obtener una mezcla asfáltica idónea para el proyecto.

Los agregados conforman el esqueleto mineral de la mezcla asfáltica por ello son parte primordial en esta ya que los esfuerzos a los cuales serán sometidos son variados. (Arellano L. y Cáceres C., 2018).

Es por ello que también se debe tener en cuenta el chancado de los agregados, asegurando los parámetros de caras fracturadas, chatas y alargadas y la forma angulosa lo que permitirá un mejor acomodamiento de los mismos.

La dureza de los agregados también es importante porque lo hará menos susceptible al desgaste por abrasión y será más resistente con el paso de los vehículos.

Tabla 4. Requerimiento para los agregados gruesos. Fuente: EG-2013

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	95	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.



Tabla 5. Requerimiento para los agregados finos. Fuente: EG-2013

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (mall N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	---	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

### 3.3.1. Granulometría – ASTM C136

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Tamizador automático
- Juego de tamices
- Balanza

Procedimiento:

La granulometría es realizada para cada material que interviene en la mezcla, por lo que se realizaron cuatro granulometrías; estas corresponden a muestras representativas previamente seleccionadas y cuarteadas. Seguidamente se inició con el proceso de zarandeado, se añadió la muestra de a pocos evitando no saturar las zarandas por un tiempo de 10 minutos en el equipo automático. Luego los retenidos de cada tamiz son separados en tazones para ser pesados y calcular los porcentajes pasantes.

Esta prueba nos permitirá determinar la gradación de cada agregado que será parte de la mezcla, con lo cual se obtendrá los porcentajes de cada agregado para determinar la mezcla optima que pueda encajar dentro del huso granulométrico requerido.

Imagen 14. Combinación de agregados ASTM D3515-D5. Fuente: Elaboración propia

**DETALLE DE LA MUESTRA**

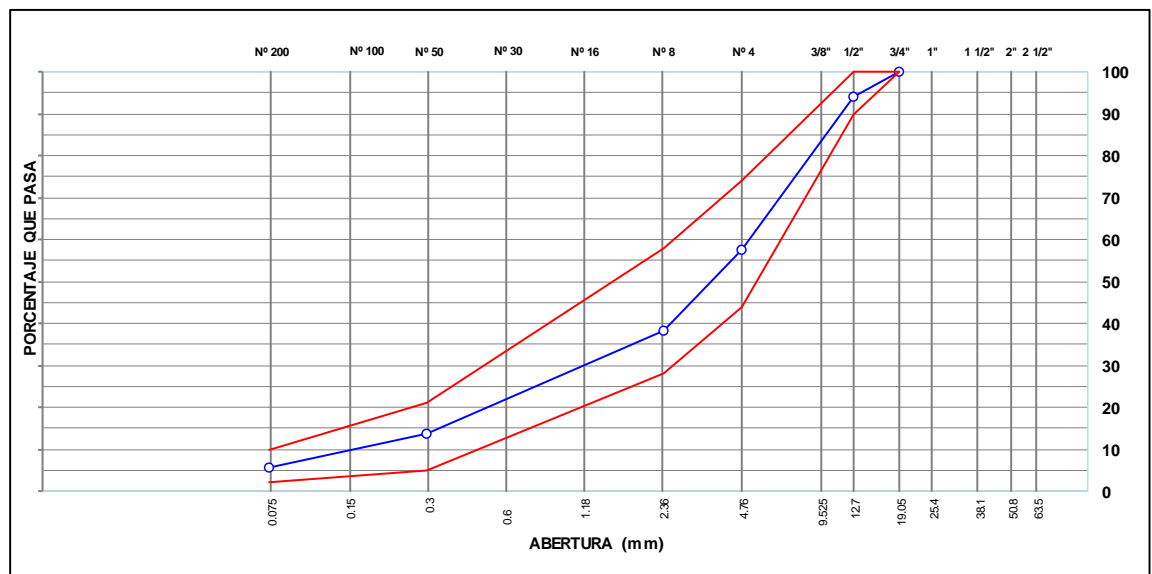
IDENTIFICACIÓN : CANTERA CRUSHING  
DESCRIPCIÓN : MEZCLA DE AGREGADOS

COMBINACIÓN TEORICA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO					
MALLAS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	GRADACIÓN ASTM D3515 D-5
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050			100.0	100 100
1/2"	12.700	5.8	5.8	94.2	90 100
3/8"	9.525	5.8	11.5	88.5	
1/4"	6.350	19.6	31.1	68.9	
# 4	4.760	11.4	42.5	57.5	44 74
# 6	3.360	11.2	53.7	46.3	
# 8	2.380	8.0	61.7	38.3	28 58
# 10	2.000	3.5	65.2	34.8	
# 16	1.190	8.6	73.9	26.2	
# 20	0.840	4.6	78.5	21.5	
# 30	0.590	2.4	80.9	19.2	
# 40	0.426	4.1	85.0	15.0	
# 50	0.297	1.3	86.3	13.7	5 21
# 80	0.177	4.8	91.0	9.0	
# 100	0.149	1.1	92.1	7.9	
# 200	0.074	2.3	94.4	5.7	2 10
< # 200	(ASTM C-117)	5.7	100.0	0.0	

PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	15.0 %
CONFITILLO	30.0 %
ARENA CHANCADA	35.0 %
ARENA PROCESADA	20.0 %

**ESPECIFICACIONES**  
ESPECIFICACIÓN ASTM D 3515 D-5.

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Para esta investigación se eligió la gradación ASTM D3515 Huso D5, obteniéndose la mezcla optima de agregados considerando:

- Piedra Chancada 15%
- Confitillo 30%
- Arena Chancada 35%
- Arena Procesada 20%

Imagen 15. Ensayo de granulometría, caracterización de los agregados.



### 3.3.2. Equivalente de Arena – ASTM D2419

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Probeta graduada
- Pisón
- Agitador automático
- Cronometro

Procedimiento:

Este ensayo se realiza para determinar la cantidad de finos o contenido de la fracción fina poseen la arena dentro de su composición. Para este ensayo se requiere agregado pasante el tamiz N°4. Se vierte en la probeta de plástico 4” de solución de agua destilada con cloruro de calcio (solución stock), luego se incorpora una cantidad determinada de agregado y se dejan reposar por 10 minutos. Seguidamente procedemos con la agitación de la probeta se completa llenando con la solución hasta las 12 pulgadas. Nuevamente lo dejamos reposar por 20 minutos y finalmente introducimos el pisón y tomamos lectura.

Tabla 6. Resultados del Equivalente de arena de los agregados finos. Fuente: Elaboración propia

EQUIVALENTE DE ARENA (%)	
Arena Chancada	Arena Procesada
61.0	70.0

El equivalente obtenido de las arenas está considerado dentro de lo recomendado por las especificaciones técnicas generales EG-2013.

Imagen 16. Ensayo de equivalente de arena



### 3.3.3. Peso específico del agregado fino – ASTM C127

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Fiola volumétrica de 500 ml.
- Bomba de vacíos.
- Agua destilada.

Procedimiento:

Para el peso específico se selecciona la parte fina en los agregados, trabajamos con las partículas pasante del tamiz N°4. Previamente el agregado debe haber alcanzado la condición de triple S (saturado superficialmente seco). Se procede a verter 500 g del agregado, luego llenamos con agua y extraemos el aire atrapado mediante el uso de la bomba de vacío, finalmente completar con agua destilada hasta la altura del menisco, obteniendo este último peso.

Tabla 7. Peso específico del agregado fino. Fuente: Elaboración propia

AGREGADO FINO	Arena Chancada	Arena Procesada
P.E Bulk (base seca) (F / (G-E))	2.724	2.693
P.E Bulk (base saturada) (G / (A-E))	2.764	2.728
P.E Aparente (base seca) (F / ((500-E)-(500-F))	2.837	2.790
% Absorción ((A-F) / F*100)	1.5	1.3

Tabla 8. Peso específico del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia

AGREGADO GRUESO	Grava 1/2"	Confitillo
P.E Bulk (base seca) (D / C)	2.757	2.692
P.E Bulk (base saturada) (A / C)	2.780	2.722
P.E Aparente (base seca) (D / E)	2.822	2.777
% Absorción ((A-D) / D)X100)	0.8	1.1

Para la elaboración del diseño se considera el promedio del peso específico bulk de las

dos arenas y de las dos piedras, según los porcentajes de participación en la mezcla de agregados:

- Peso Específico Bulk de los Agregados Finos:  $2.713 \text{ g/cm}^3$
- Peso Específico Bulk de los Agregados Gruesos:  $2.714 \text{ g/cm}^3$

Imagen 17. Ensayo de gravedad específica de la arena



### 3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS

La calidad del asfalto fue debidamente verificada antes de iniciar con la elaboración de los diseños de mezcla.

Para la mezcla asfáltica con asfalto convencional utilizamos el asfalto PEN 60/70 Plus y para la mezcla asfáltica con asfalto modificado utilizamos el Betutec 60/85, este es un asfalto modificado con polímero SBS que posee un alto grado de performance.

Los ensayos de calidad miden las constantes físicas y reológicas de los asfaltos, gracias a estos podremos obtener datos relevantes que nos ayudaran a clasificarlos por tipos y poder elegir el más adecuado para nuestro diseño.

### 3.4.1. Penetración – ASTM D5

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- penetrómetro – kit completo
- Baño maría

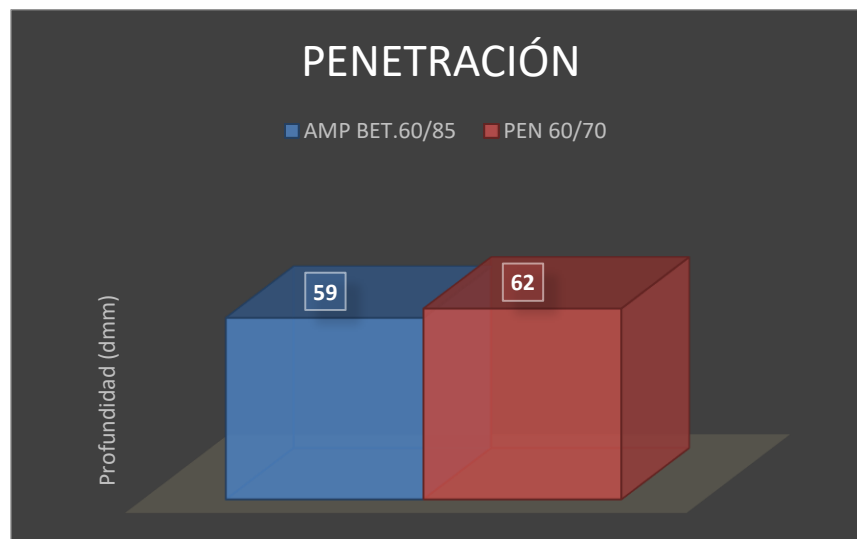
Procedimiento de ensayo:

Llenamos el asfalto en un dish, y lo dejamos enfriar por 1.5 horas luego lo llevamos al baño de agua a la temperatura constante de 25°C por 1.5 horas más. Transcurrido este tiempo procedemos a realizar la penetración con el equipo dejando caer la aguja libremente por un tiempo de 5 segundos. El resultado se reporta en dmm (decima de milímetro).

Tabla 9. Resultados de las pruebas de penetración. Fuente: Elaboración propia

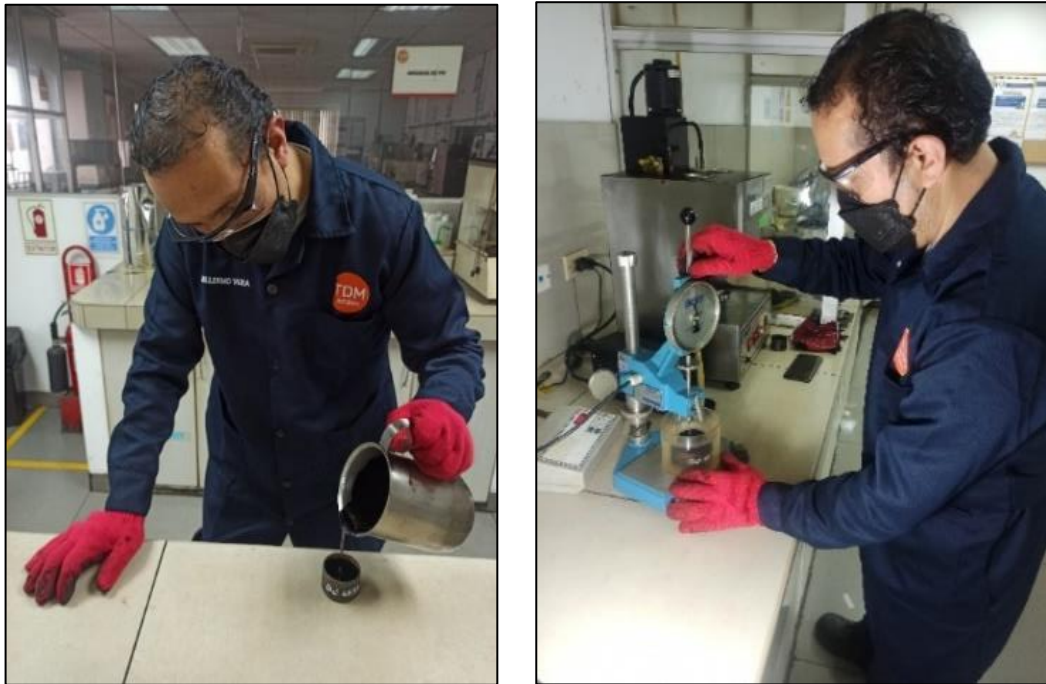
PENETRACIÓN	
AMP BET.60/85	PEN 60/70
59 dmm	62 dmm

Gráfico 1. Comparativo de penetración



En la investigación se verificaron las penetraciones de los asfaltos y se aprecia que, en este caso, el resultado de penetración del asfalto modificado es 3 décimas de milímetro más duro que el asfalto Pen 60/70.

Imagen 18 Ensayo de penetración



### 3.4.2. Punto de Inflamación – ASTM D92

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Copa Cleveland – kit completo
- Termómetro
- Mechero bunsen

Llenamos la Copa Cleveland con el asfalto a ensayar, este debe estar, según norma técnica, a una temperatura no mayor a los 56°C antes del ensayo. Luego se va calentando la copa por la base con el mechero hasta que se note la emanación de vapores, mientras se va pasando una llama por encima y se vamos observando a que



se produzca un destello. En el instante en que ello ocurra se toma la lectura de la temperatura.

Tabla 10. Resultados de las pruebas de punto de inflamación. Fuente: Elaboración propia

PUNTO DE INFLAMACIÓN	
AMP BET.60/85	PEN 60/70
284 °C	290 °C

El punto de inflamación es un parámetro que nos indica la temperatura a la cual los vapores del asfalto son susceptibles de encenderse. Este dato obtenido se debe tener presente para el almacenamiento de los asfaltos los cuales no deben exceder de esta temperatura porque, a pesar que el asfalto no es considerado un producto inflamable, si puede llegar a encenderse debido al sobrecalentamiento y generar accidentes.

Gráfico 2. Comparativo de punto de inflamación

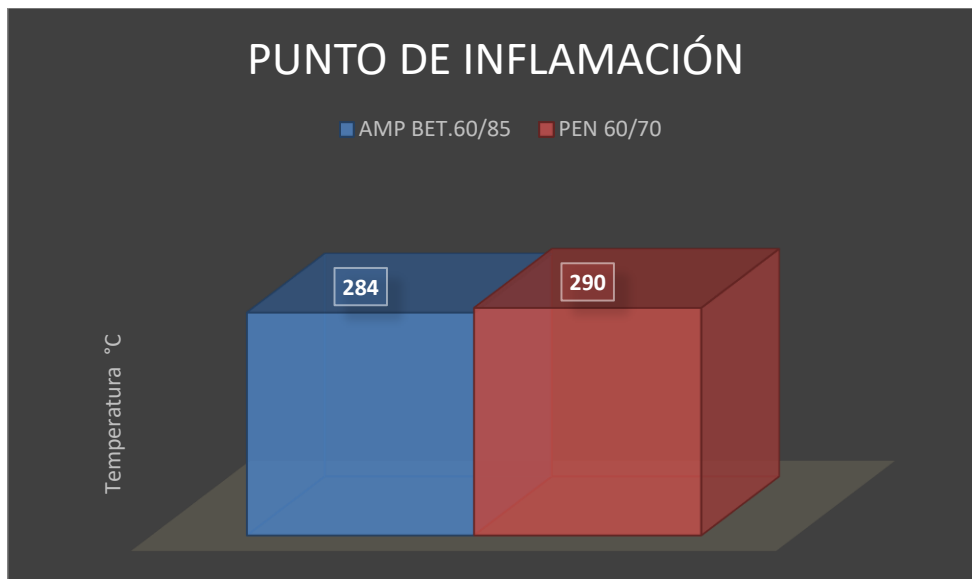
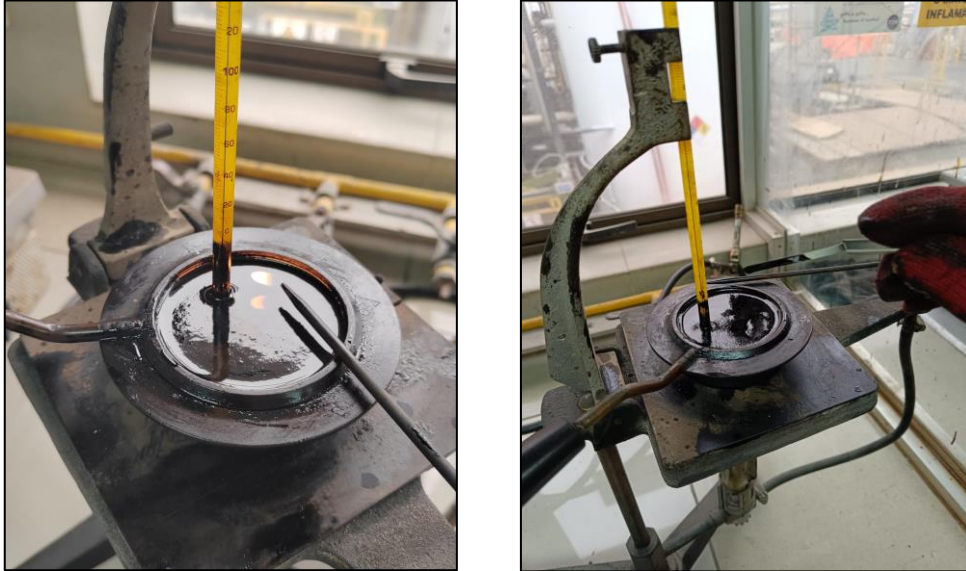


Imagen 19. Ensayo de punto de inflamación



### 3.4.3. Solubilidad en Tricloroetileno – ASTM D2042

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Equipo de Solubilidad – kit completo
- Matraz Erlenmeyer
- Crisol Gooch
- Tricloroetileno Grado AC
- Papel filtro

Procedimiento de ensayo:

Colocamos 2g de asfalto en el matraz Erlenmeyer, añadimos 100 ml del tricloroetileno y disolvemos el asfalto, lo llevamos al baño maría a la temperatura de 37.8°C, luego se succiona y filtra y se reporta el retenido en porcentaje. Mediante esta prueba se determina la materia cementante insoluble presente en el asfalto.

Tabla 11. Resultados de las pruebas de punto de solubilidad. Fuente: Elaboración propia

SOLUBILIDAD	
AMP BET.60/85	PEN 60/70
99.95 %	99.80 %

Gráfico 3. Comparativo de solubilidad en tricloroetileno

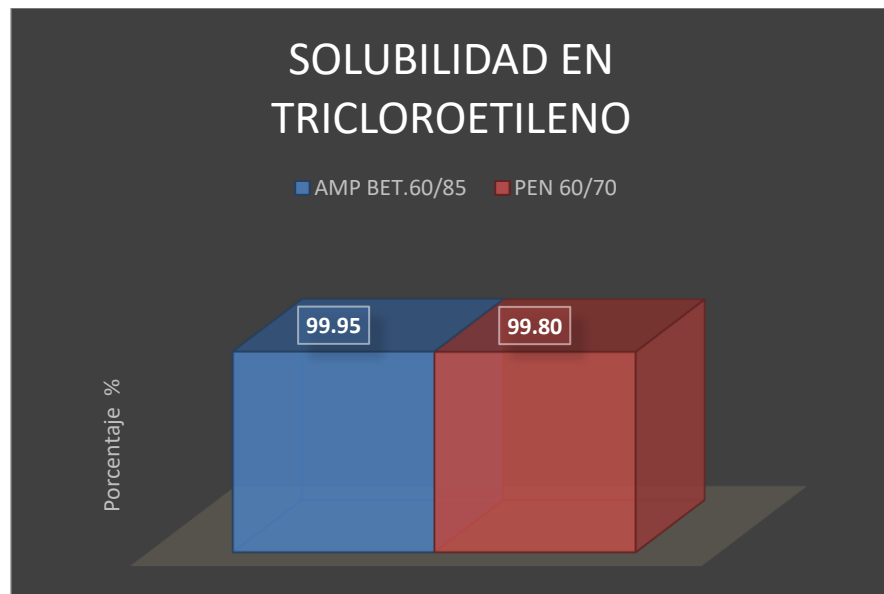


Imagen 20. Ensayo de solubilidad en tricloroetileno



### 3.4.4. Punto de Ablandamiento – ASTM D36

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Equipo de punto de ablandamiento (soporte)
- Termómetro
- Billas de acero
- Plancha de calentamiento

Procedimiento de ensayo:

El punto de ablandamiento indica a qué temperatura el asfalto pasa de solido a fluido. Para esta prueba, el asfalto es vertido en los anillos de ensayo y se deja enfriar a temperatura ambiente por 0.5 horas. Se enrasa el excedente y se deja reposar por 0.5 horas más. Seguidamente los anillos son colocados en el soporte de punto de ablandamiento con las billas incluidas, dentro de un beaker con agua destilada temperada 5°C. Se somete a calentamiento asegurando que el incremento de temperatura del líquido sea de 5°C por minuto. Las billas irán cayendo y cuando estas topen la base tomamos lectura de la temperatura. Finalmente reportamos el promedio.

Tabla 12. Resultados de las pruebas de punto de ablandamiento. Fuente: Elaboración propia

PUNTO DE ABLANDAMIENTO	
AMP BET. 60/85	PEN 60/70
67.5 °C	48.1 °C

Con los resultados obtenidos podemos observar que el asfalto modificado logra un mejor punto de ablandamiento debido al polímero SBS lo que lo hace un asfalto mas robusto y con mayor resistencia a los ensayos de desempeño.

Gráfico 4. Comparativo de punto de ablandamiento

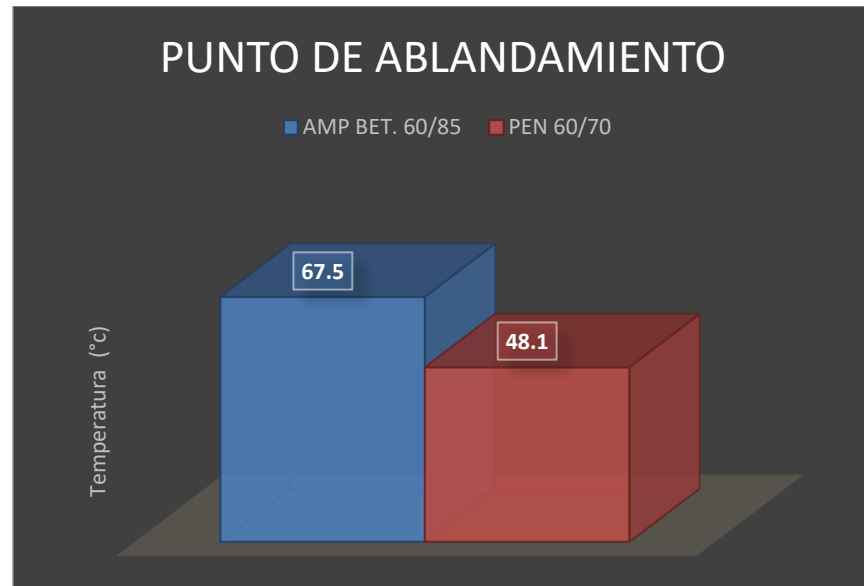


Imagen 21 Ensayo de punto de ablandamiento



### 3.4.5. Ductilidad – ASTM D113

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Ductilómetro
- Molde de Ductilidad

- Regla de medida

Procedimiento de ensayo:

Se vierte el asfalto en los moldes de ductilidad, lo dejamos enfriar por 0.5 horas a temperatura ambiente, luego lo sumergimos en un baño de agua a 25°C por 0.5 horas más, lo enrasamos y lo volvemos a llevar al baño por 1.5 horas, luego de este tiempo estiramos la muestra en el equipo ductilómetro a una velocidad de elongación de 5 cm por minuto hasta que se rompa.

Tabla 13. Resultado de las pruebas de ductilidad. Fuente: Elaboración propia

DUCTILIDAD	
AMP BET. 60/85	PEN 60/70
>150	>150

Gráfico 5. Comparativo de punto de ductilidad

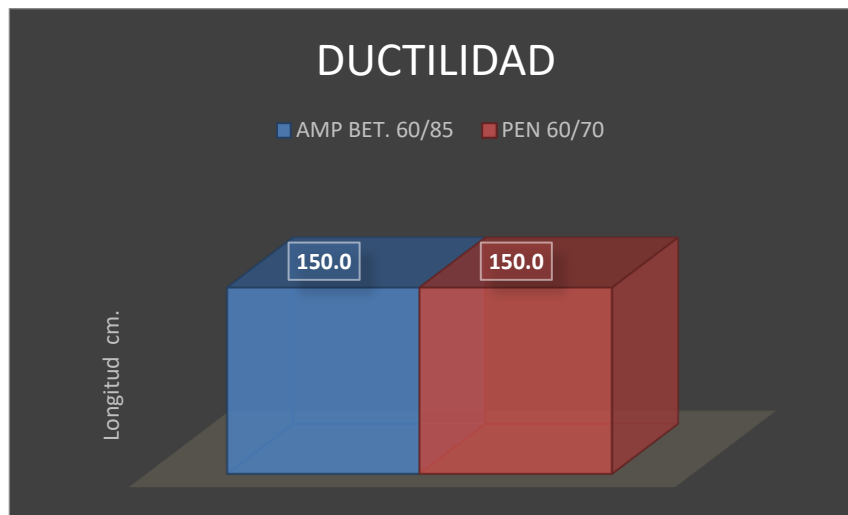


Imagen 22. Ensayo de ductilidad



### 3.4.6. Recuperación Elástica Lineal – ASTM D6084

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Ductilómetro
- Moldes
- Regla o elemento de control de medida

Procedimiento de ensayo:

Se vierte el asfalto en los moldes de recuperación elástica lineal, lo dejamos enfriar por 0.5 horas a temperatura ambiente, luego lo sumergimos en un baño de agua a 25°C por 0.5 horas más, lo enrasamos y volvemos a llevar al baño por 1.5 horas, luego se estira 20 cm según especificación que debe cumplir el asfalto, se corta y se deja recuperar por 1 hora, luego de ello se mide y se calcula su porcentaje de recuperación.

Tabla 14. Resultados de las pruebas de recuperación elástica lineal. Fuente: Elaboración propia

RECUPERACION ELASTICA LINEAL	
AMP BET. 60/85	PEN 60/70
87.0	14.0

Los asfaltos modificados con polímeros SBS tienen una alta recuperación elástica lineal en el orden de 70% al 95% dependiendo del tipo y concentración de polímero. El Betutec 60/85 tiene un mínimo de 85% de recuperación elástica lineal, esta propiedad otorgada por el polímero resulta favorable para el desempeño de la mezcla asfáltica.

Gráfico 6. Comparativo de recuperación elástica lineal

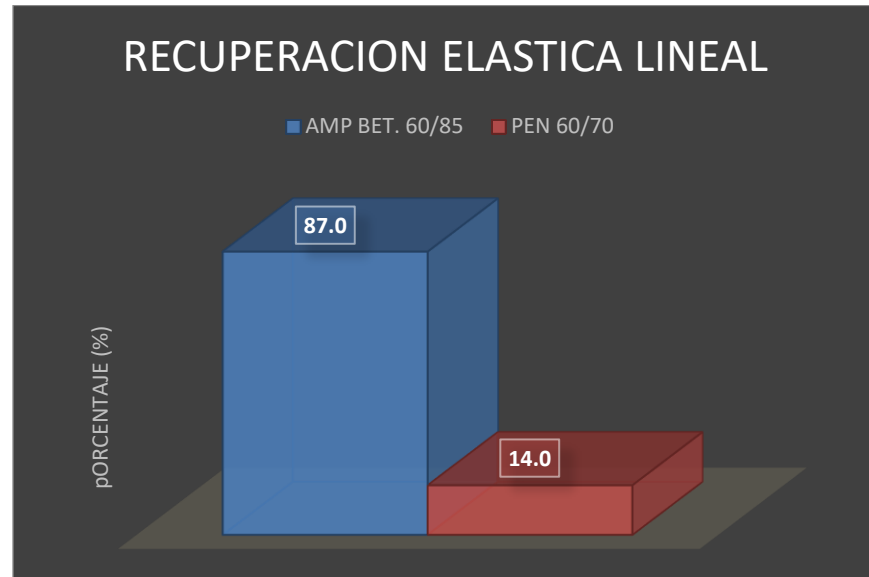


Imagen 23. Ensayo de recuperación elástica lineal



### 3.4.7. Viscosidad Cinemática – ASTM 2170

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Equipo de viscosidad cinemática
- Baño de temperatura constante



- Capilares
- Termómetro
- Cronometro

Procedimiento de ensayo:

Setear el baño de temperatura constante a 135°C, verter el asfalto en el capilar, dejar temperar por 0.5 horas, luego succionar con la bomba y medir el tiempo en segundos que demora el asfalto en pasar de un punto inicial a un punto final marcados en el capilar, luego se multiplica por un factor y se reporta en CentiStokes.

Tabla 15. Resultados de las pruebas de viscosidad cinemática. Fuente: Elaboración propia

VISCOSIDAD CINEMÁTICA	
AMP BET.60/85	PEN 60/70
1680.5	422.7

Gráfico 7. Comparativo de viscosidad cinemática

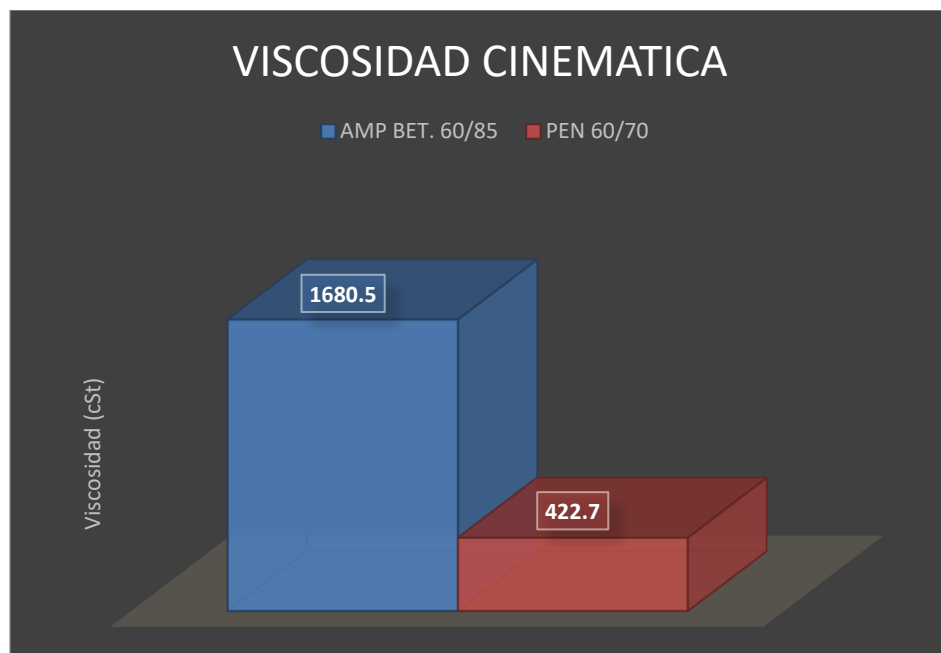


Imagen 24. Ensayo de viscosidad cinemática



#### **3.4.8. Viscosidad Brookfield – ASTM D4402**

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Equipo de viscosidad Brookfield
- Aguja Brookfield SC4-21
- Tubo Brookfield
- Thermosel - Celda de calentamiento
- Controlador de temperatura

Procedimiento de ensayo:

Se colocan 8 g de asfalto en el tubo Brookfield luego se coloca en la celda de calentamiento juntamente con la aguja Brookfield dentro, temperando por 10 minutos, transcurrido este tiempo se ensaya por un tiempo de 10 minutos y se toma lectura. Se reporta en Centipoise.

Tabla 16. Resultados de las pruebas de viscosidad brookfield. Fuente: Elaboración propia

VISCOSIDAD BROOKFIELD A 135°C	
AMP BET.60/85	PEN 60/70
1648	412.5

La viscosidad del asfalto modificado frente al asfalto convencional es superior debido al aporte del polímero en el asfalto. La viscosidad es una propiedad importante porque a través de esta se determinan las temperaturas de mezcla y compactación. Del gráfico se observa que la viscosidad del asfalto convencional equivale al 33.8% de la viscosidad del asfalto modificado esto quiere decir que para el bombeado del asfalto se necesitará una mayor temperatura de trabajo.

Gráfico 8. Comparativo de viscosidad brookfield

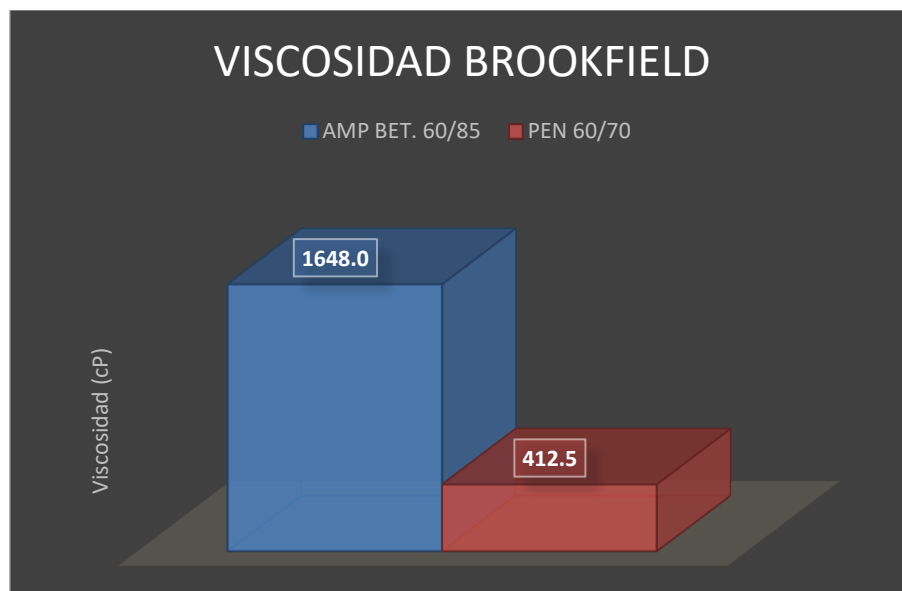


Imagen 25. Ensayo de viscosidad Brookfield



Las tablas 36 y 37 del anexo, nos muestran los resultados de los ensayos de calidad de ambos asfaltos, PEN 60/70 Plus y Betutec 60/85. Con lo cual se verificó que estos cumplan con las especificaciones técnicas EG-2013 requeridas y presentadas en las especificaciones técnicas generales EG 2013 y los cuales se presentan en la siguiente tabla:

### **3.5. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA**

Los diseños de mezcla se realizaron bajo la metodología Marshall utilizando la gradación de la ASTM D3515 D5. Se elaboraron especímenes con diferentes contenidos de asfalto, los cuales fueron ensayados y se determinaron gráficamente los contenidos óptimos. Esto lo hicimos para ambos diseños de mezcla, con asfalto convencional y con asfalto modificado.

#### **3.5.1. Medición de las propiedades de las mezclas asfálticas**

En este punto explicamos de qué forma se obtendrán los resultados y en las

mediciones que realizaremos para la medición de las propiedades de las mezclas asfáltica para ello nos guiamos de las especificaciones técnicas EG-2013 que en su Capítulo IV: Pavimentos Flexibles. Sección 423 Pavimento de concreto asfáltico en caliente.

Por tal motivo se realizaron todas las pruebas en la etapa de caracterización de agregados como en la elaboración del diseño de mezcla, cumpliendo satisfactoriamente con los parámetros exigidos.

Así mismo se contemplaron los ensayos de performance de la mezcla asfáltica realizándose con ello las pruebas de rueda de Hamburgo, módulo resiliente, fatiga, lottman, exigidas también en la norma técnica EG-2013, y cuyos resultados se irán mostrando en el desarrollo de la presente investigación

### **3.5.2. Metodología MARSHALL**

Equipos necesarios para la realización del ensayo

- Ligantes asfálticos PEN 60/70 Plus y Betutec 60/85
- Compactador Marshall
- Prensa Marshall
- Moldes para especímenes de 4"
- Horno de convección forzada
- Baño María

Procedimiento de diseño:

El método Marshall, comprende la preparación, moldeo y rotura de especímenes cilíndricos de 4" de diámetro y 6 cm de altura aproximadamente.

Se mezclan y compactan los agregados pétreos con el ligante asfáltico con la finalidad de determinar las características volumétricas de la mezcla asfáltica, se analizan las densidades, vacíos del agregado mineral, vacíos en la mezcla compactada, la estabilidad y la fluencia.

En este estudio las pruebas fueron direccionadas hacia la elaboración de dos diseños de mezcla: un diseño con asfalto convencional PEN 60/70 Plus y otro diseño con asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85.

Para la preparación de las mezclas asfálticas calentamos los asfaltos hasta la temperatura indicada en su carta de viscosidad, cada asfalto tiene su propia carta de viscosidad, los agregados son calentados hasta 10°C por encima de la temperatura de mezcla mencionada en la carta de viscosidad de los asfaltos.

Se prepararon 15 especímenes por cada diseño de mezcla, 3 especímenes por cada incremento de porcentaje del asfalto.

Una vez caliente los asfaltos y los agregados iniciamos con la preparación de las mezclas con los pesos antes definidos para que, luego de un proceso de curado, se compacten con el compactador Marshall a 75 golpes por cara.

Los especímenes se dejan enfriar por 24 horas y luego son desmoldados, se miden las alturas y se identifican y se separan por grupos de porcentajes.

El siguiente paso es medir la densidad y determinar los vacíos, tomamos tres pesos, seco al aire, saturado superficialmente seco y sumergido.

Para determinar la estabilidad y flujo llevamos todos los especímenes identificados al baño maría a una temperatura de 60°C por 40 minutos pasado este tiempo se ensaya en la prensa Marshall.

### Resumen de resultados de los Diseños de Mezclas:

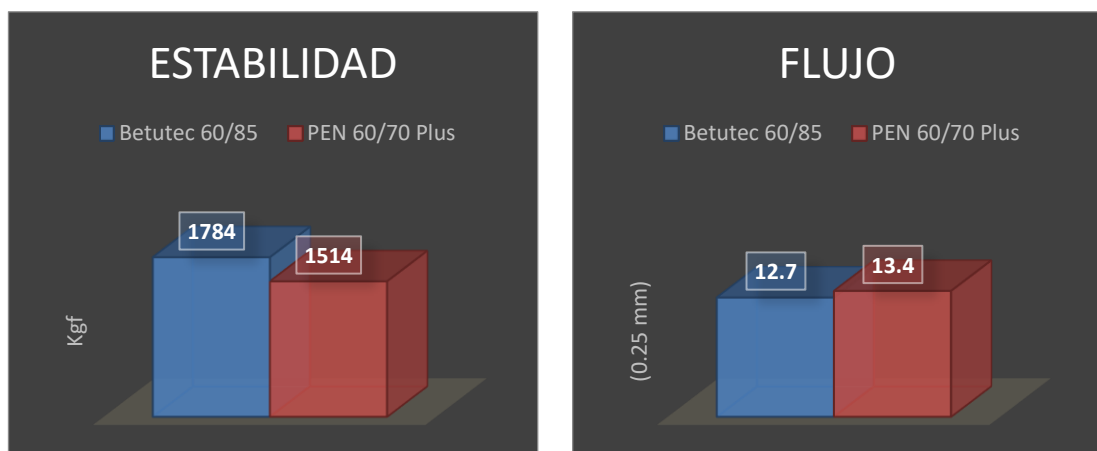
Tabla 17. Cuadro de resumen de los diseños de las mezclas asfálticas. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Cantera	Contenido Optimo	% Vacíos	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad Kgf	Flujo (0.25 mm)
Betutec 60/85	Crushing	5.30%	4.0%	2.423	1784	12.7
PEN 60/70 Plus	Crushing	5.30%	4.0%	2.429	1514	13.4

En la tabla 17, podemos observar los resultados obtenidos en la elaboración de los diseños de mezcla asfáltica con asfalto convencional y asfalto modificado.

Como sabemos, el diseño por el método Marshall está basado en el análisis de la volumetría de la mezcla asfáltica, la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos, así mismo la determinación del asfalto absorbido, los vacíos en el agregado mineral (VMA), los vacíos llenos con asfalto (VFA), cuyos parámetros se encuentran establecidos en las especificaciones técnicas generales para carreteras EG-2013.

Gráfico 9. Gráficos comparativos de estabilidad y flujo de los diseños marshall



### **3.6. EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE ACUERDO CON LAS NORMAS TÉCNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO SBS BETUTEC 60/85**

#### **3.6.1. Ensayo de Rueda de Hamburgo – AASHTO T324**

Para esta prueba, primeramente, se elaboraron especímenes cilíndricos de 6” de diámetro y 6 cm de espesor con el compactador giratorio Superpave. Luego los especímenes fueron colocados en el equipo de Rueda de Hamburgo, la cual consta de un baño de agua y una rueda con una carga de 705 newtons. La prueba mide la deformación plástica, es decir la deformación no recuperable, de la mezcla asfáltica, para lo cual los especímenes son sumergidos en agua a 50°C y sometidos a 20000 pasadas esperando una deformación no mayor de 12.5 mm.

De estos resultados y de los ábacos que se realizan durante la etapa de diseño del pavimento podemos calcular el tiempo de vida útil de la mezcla asfáltica. Así mismo, observando la profundidad de deformación alcanzada, el número de pasadas y el tipo de curva representada durante todo su recorrido, podríamos predecir también, fallas por stripping (adherencia), fallas por calidad de los agregados y observar además los desprendimientos y desmoronamiento de los especímenes ensayados.

Seguidamente presentaremos los resultados obtenidos de la deformación permanente de ambos diseños de mezcla que comprenden nuestro estudio.



**Resumen de resultados de los ensayos de Rueda de Hamburgo:**

Tabla 18. Ensayos de Rueda de Hamburgo de las Mezclas Asfálticas. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Cantera	Contenido Optimo	% Vacíos	N° Pasadas	Deformación (mm)	Variación (%)
Betutec 60/85	Crushing	5.30%	7.00%	20000	1.69	86.5
PEN 60/70 Plus	Crushing	5.30%	7.00%	13850	12.5	

Gráfico 10. Comparativo de deformación de Rueda de Hamburgo

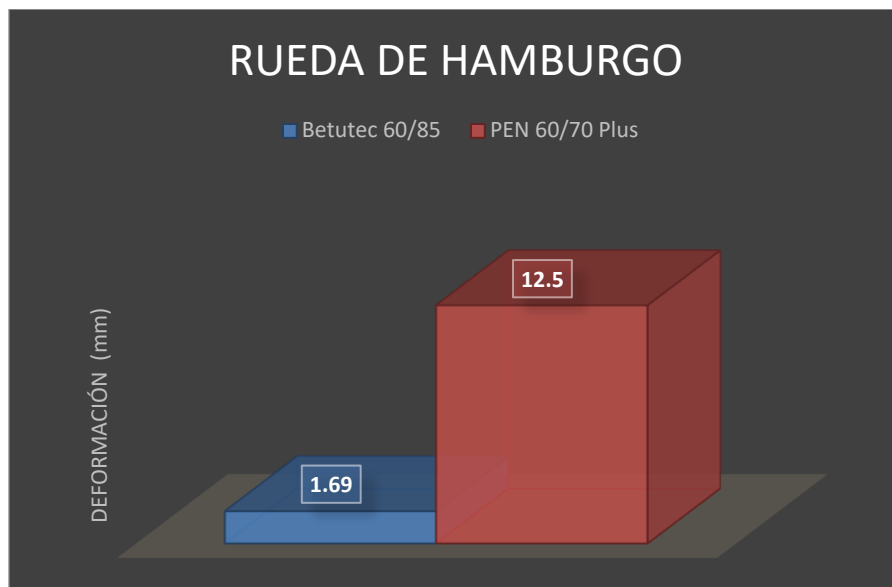


Gráfico 11. Gráfico de Rueda de Hamburgo Mezcla Asfáltica Modificada. Fuente: Elaboración propia

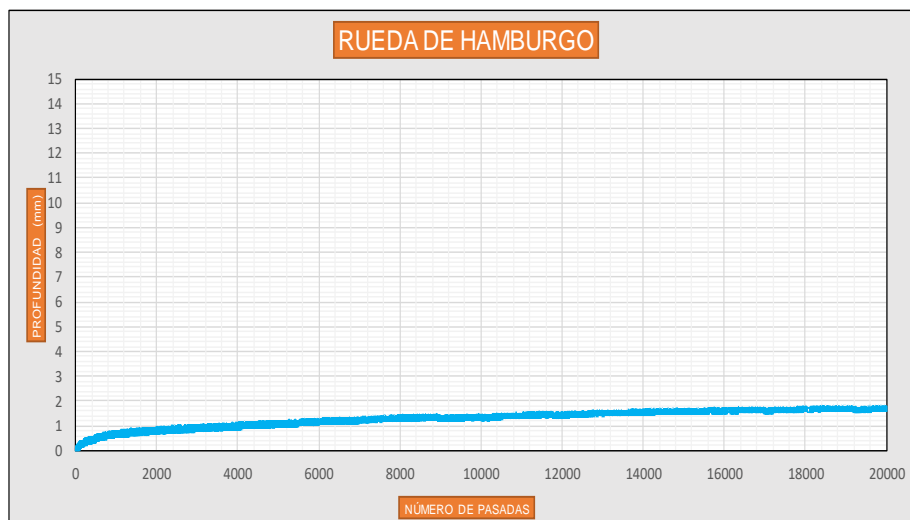
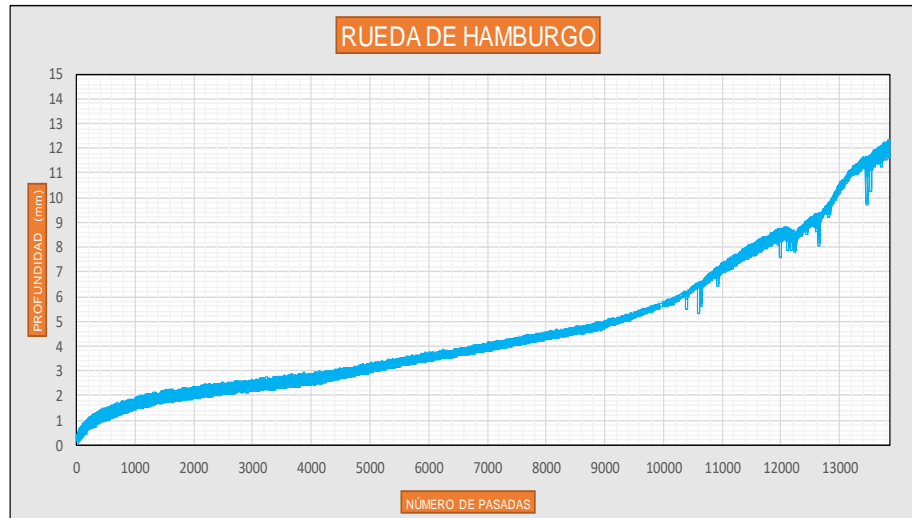


Gráfico 12. Gráfico de Rueda de Hamburgo Mezcla Asfáltica Convencional. Fuente: Elaboración propia



La tabla 18, nos muestra los resultados obtenidos en las pruebas de Rueda de Hamburgo de las mezclas asfálticas con asfalto convencional y asfalto modificado.

De estos resultados podemos afirmar que la mezcla elaborada con asfalto modificado tiene una mejor performance y su deformación final es muy satisfactoria frente a la mezcla asfáltica convencional que no llegó a completar las 20000 pasadas por haber alcanzado la deformación máxima permitida.

Así mismo la deformación obtenida de la mezcla con asfalto modificado equivale a una reducción del 86.5% de la deformación alcanzada con el asfalto convencional.

### 3.6.2. Ensayo de Modulo Resiliente – AASHTO TP31

Con este ensayo medir la deformación elástica de la mezcla asfáltica es decir en las deformaciones recuperables. Se prepararon especímenes de 4” de diámetro y 6 cm de espesor aproximadamente. Se ensayaron en tracción

indirecta a la temperatura de 20°C y a la frecuencia de 1Hz, obteniendo el valor del Módulo de Resiliencia de la mezcla asfáltica. Este ensayo se realizó en la Maquina Universal UTM.

En la tabla 19, se muestran los resultados obtenidos en la prueba de Modulo de Resiliencia de las mezclas asfálticas con asfalto convencional y asfalto modificado.

Este parámetro es muy importante para nuestro estudio.

### Resumen de resultados de los ensayos de Módulo Resiliente:

Tabla 19. Ensayos de Modulo Resiliente de las Mezclas Asfálticas. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Cantera	Contenido Optimo	Def. Recup.	Modulo Resiliente (Mpa)	Variación (%)
Betutec 60/85	Crushing	5.30%	1.93 µm	4376	13.6
PEN 60/70 Plus	Crushing	5.30%	2.31 µm	3783	

Gráfico 13. Ensayos de Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica Modificada. Fuente: Elaboración propia

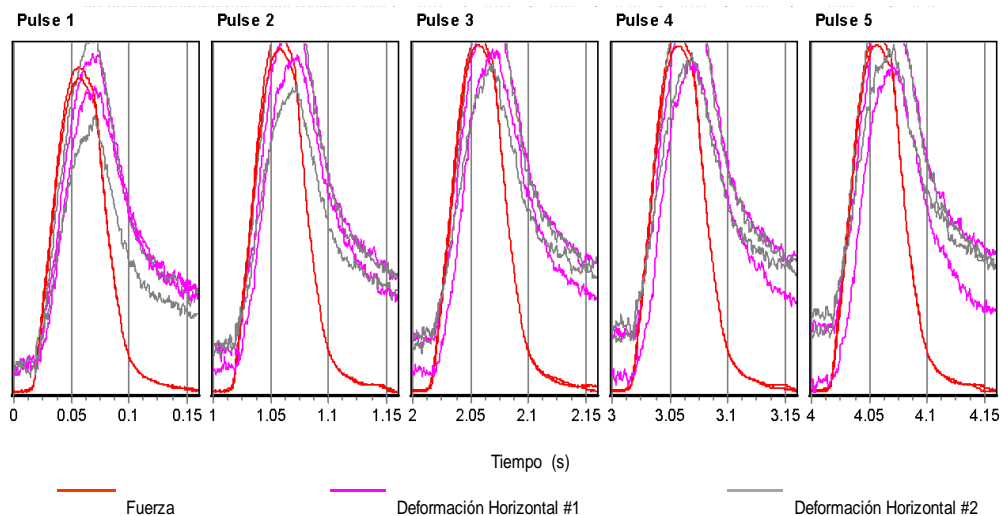


Gráfico 14. Ensayos de Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica Convencional. Fuente: Elaboración propia

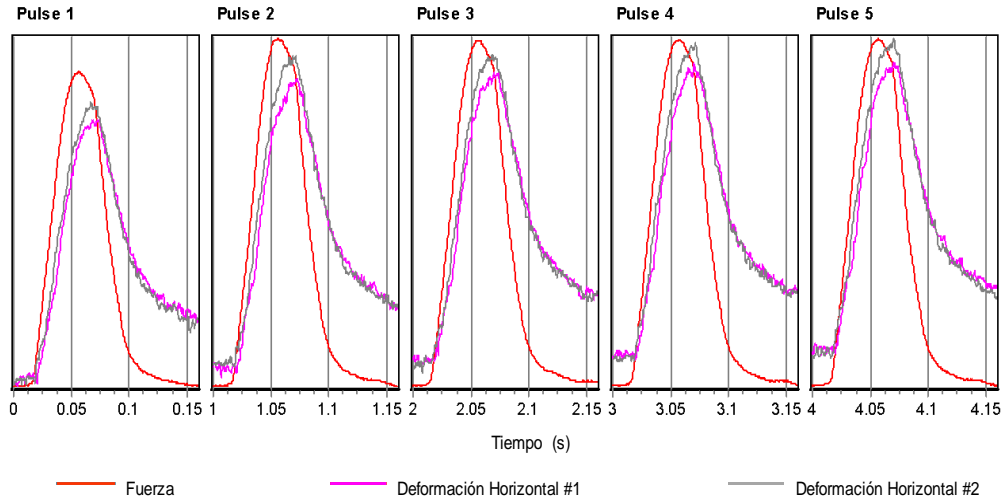
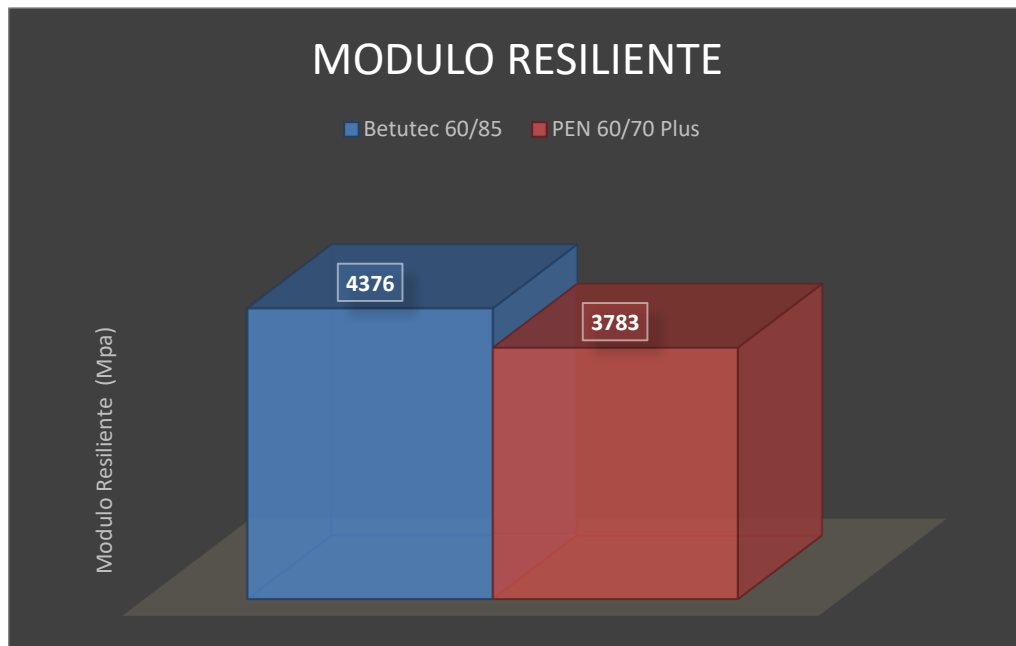


Gráfico 15. Comparativo de Módulo Resiliente



### 3.6.3. Ensayo de Vida Fatiga – AASHTO T321

Esta prueba mide la rigidez de la mezcla asfáltica y la falla por fatiga de una viga prismática rectangular de 6.3 cm por 5.0 cm por 38 cm.

La viga fue colocada en una abrazadera de ajuste automático de cuatro puntos, dos estáticos y dos móviles y fue sometida a flexotracción repetida a 750 microstrain (ms) hasta que su rigidez inicial redujo al 50%. Estas pruebas se realizaron a la temperatura de 20°C, obteniendo los valores de rigidez flexural y el módulo normalizado. De acuerdo con los ciclos de falla podemos indicar si la mezcla presentará fatiga temprana y si va a ocurrir fisuramientos prematuros en las vías.

### Resumen de resultados de los ensayos de Vida Fatiga:

Tabla 20. Ensayos de Fatiga de las Mezclas Asfálticas. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Cantera	Contenido Optimo	Ciclos	Deformación de Tensión	Rigidez Flexural
Betutec 60/85	Crushing	5.30%	2143000	750 ms	1433
PEN 60/70 Plus	Crushing	5.30%	161102	750 ms	1623

Gráfico 16. Comparativo de Vida Fatiga

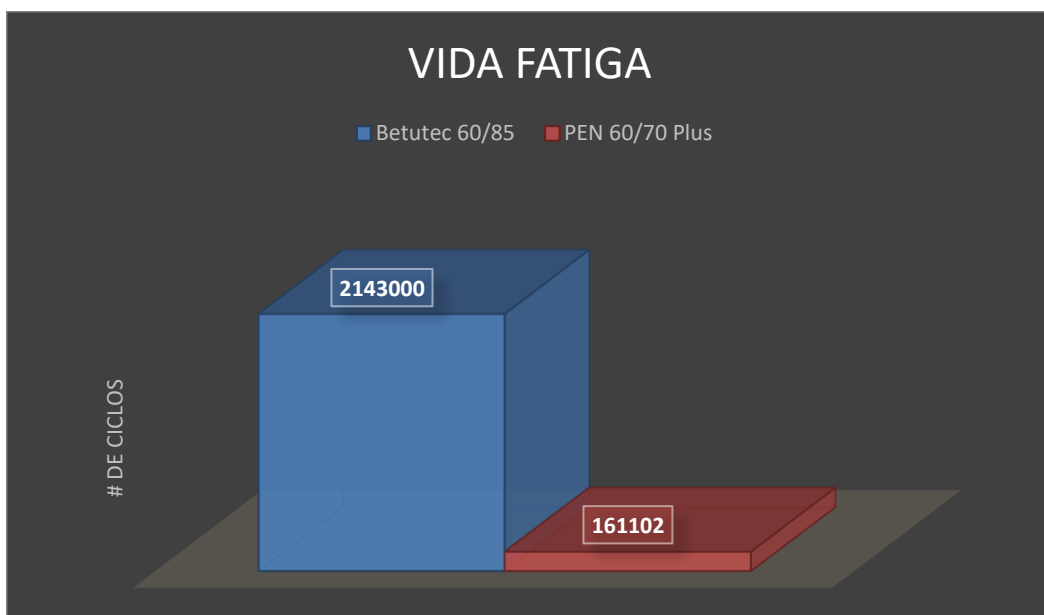


Gráfico 17. Especimen de prueba de la Mezcla Asfáltica Modificada. Fuente: Elaboración propia

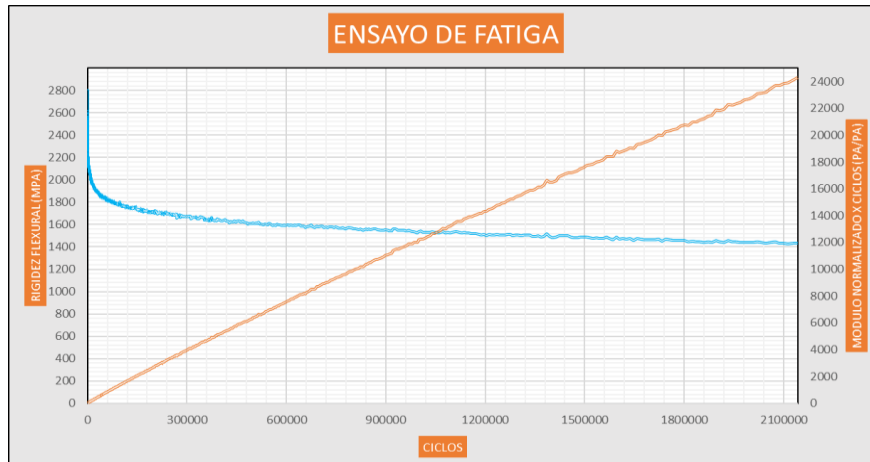
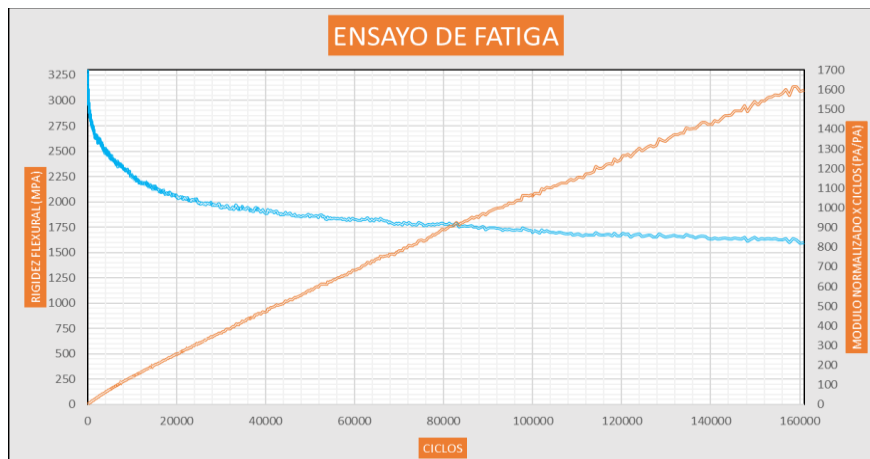


Gráfico 18. Ensayo de Vida Fatiga de la Mezcla Asfáltica Convencional. Fuente: Elaboración propia



### 3.6.4. Ensayo de Lottman – AASHTO T283

El ensayo de lottman es utilizado para medir la susceptibilidad de las mezclas asfálticas al daño por la humedad inducida.

Se preparan 6 especímenes cilíndricos de 4" de diámetro y luego se separan en dos grupos, para ensayarse en condición seca y condición húmeda, además de ello se somete a una fase de congelamiento a -18°C por 16 horas y luego

en un baño de agua a 60°C por 24 horas. Luego se ensayan y se hace una relación entre la condición seca y húmeda conocido como el TSR. Este valor de TSR no debe ser menor a 80%

### Resumen de resultados de los ensayos de Lottman:

Tabla 21. Resultados de las pruebas de Lottman. Fuente: Elaboración propia

LOTTMAN - % TSR	
AMP BET.60/85	PEN 60/70
84.4 %	79.4 %

### 3.7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO SBS BETUTEC 60/85.

**A.** Los diseños de las mezclas asfálticas con el asfalto convencional y el asfalto modificado con polímero SBS, fueron elaborados bajo la metodología Marshall. En ambos diseños se utilizaron los mismos agregados y la misma gradación. Los resultados obtenidos son los que se mostraran a continuación:

#### Cuadro Resumen de Diseño de Mezclas:

Tabla 22. Resultados volumétricos. Fuente: Elaboración propia

Diseños de Mezcla Asfáltica - ASTM D3515 D5			
Tipo de Asfalto	Contenido Optimo	Estabilidad Kgf	Flujo (0.25 mm)
Betutec 60/85	5.30%	1784	12.7
PEN 60/70	5.30%	1514	13.4

El contenido asfáltico en ambos diseños, con asfalto convencional y modificado, resultaron con 5.3%. Respecto a la estabilidad vemos como con el asfalto modificado se obtiene un mejor valor alcanzando a 1784 kgf frente a 1514 kgf del asfalto convencional. Así mismo, con el asfalto modificado alcanzamos un menor flujo respecto al asfalto convencional.

- B.** La deformación permanente alcanzada de la mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímero SBS fue de 1.69 mm a las 20000 pasadas de la rueda. Sin embargo, con el asfalto convencional se alcanzó la deformación máxima de 12.50 mm a las 13850 pasadas de la rueda.

### **Cuadro Resumen de Rueda de Hamburgo:**

Tabla 23. Resultados de las pruebas de Hamburgo. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Contenido Optimo	N° Pasadas	Deformación (mm)	Variación (%)
Betutec 60/85	5.30%	20000	1.69	86.5
PEN 60/70 Plus	5.30%	13850	12.5	

Como podemos observar en la tabla 23, la mezcla con el asfalto modificado tuvo un mejor desempeño respecto al asfalto convencional alcanzando un porcentaje de efectividad del 86.5%

- C.** Si analizamos los resultados del módulo de resiliencia podemos notar que los valores también son mejores con el asfalto modificado con polímero. La deformación recuperable es menor en el asfalto modificado eso indica que no se deformó tanto como la mezcla convencional.



### Cuadro Resumen de Módulo de Resiliencia:

Tabla 24. Resultados de las pruebas de Módulo resiliente. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Contenido Optimo	Def. Recup.	Modulo Resiliente (Mpa)
Betutec 60/85	5.30%	1.93 $\mu$ m	4376
PEN 60/70 Plus	5.30%	2.31 $\mu$ m	3783

**D.** Este ensayo mide la rigidez de la mezcla y a más ciclos de ensayo significa que la mezcla es menos susceptible a fallar por fatiga. En esta prueba es donde se nota una gran diferencia entre una mezcla con asfalto modificado y otra con asfalto convencional.

### Cuadro Resumen de Fatiga:

Tabla 25. Resultados de las pruebas de Módulo resiliente. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Contenido Optimo %	Ciclos	Rigidez Flexural (MPa)	Variación (%)
Betutec 60/85	5.30	2143000	1433	92.5
PEN 60/70 Plus	5.30	161102	1623	

Por medio de la tabla 25, podemos ver que la mezcla con el asfalto modificado tiene una mejor resistencia a la fatiga. El porcentaje de efectividad, que mide la diferencia os ciclos de ensayo, alcanzó el 92.5%

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. DISCUSIÓN

#### ▪ DE LA PROBLEMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

A través de esta investigación hemos señalado lo que sin duda es una realidad vivida en esta zona de la Av. Industrial, en el distrito de Lurín, sobre todo por aquellos usuarios quienes la transitan a diario. Sabemos que es una vía muy importante, muy transitada y bastante deteriorada, sobre todo entre sus primeras cuadras.

Concuerdo con Paredes, G. (2021), quien propone el mejoramiento de la transitabilidad mediante la elaboración de un diseño de pavimento flexible, reafirmando el nivel de tránsito y la carga a la que es expuesta a diario esta avenida principal, puesto que en el tema de investigación también buscamos un mejoramiento en el diseño de mezcla asfáltica proponiendo un estudio mediante el análisis entre la mezcla con asfalto convencional y el asfalto modificado con polímero SBS lo cual asegurará una mejor calidad de tránsito para los usuarios de esta avenida.

#### ▪ DE LOS ASFALTOS UTILIZADOS PARA LOS DISEÑOS DE MEZCLA

Como sabemos, esta investigación tiene como principal objetivo la evaluación de las propiedades de las mezclas asfálticas con asfalto modificado con polímero SBS y precisamente una de las variables que influyen directamente en el desempeño de las mezclas asfálticas precisamente son los asfaltos. En este estudio se realizó la comparación entre el asfalto modificado con polímero SBS Betutec 60/85 y el asfalto convencional Pen 60/70 Plus. Por ello, un primer procedimiento fue caracterizar y comparar las propiedades de los asfaltos sometidos a las pruebas de rigor según sus respectivas fichas técnicas y entre ellos mismos.

Concuero con Alarcón, D. y Cárdenas, M. (2021), quienes en su investigación sobre el aporte del polímero SBS como modificador de los asfaltos, cuantificaron y verificaron en cuanto se incrementan sus propiedades otorgando un grado de performance más alto.

Un asfalto modificado tiene alta recuperación elástica, mayor viscosidad en comparación con el asfalto convencional, mayor punto de ablandamiento es más resistente al intemperismo y todas estas propiedades ganadas elevan la vida útil del pavimento.

#### ▪ **DE LAS NORMAS TECNICAS UTILIZADAS**

Todas las pruebas realizadas en este proceso de investigación forman parte de los procedimientos regidos bajo las normas AASHTO y ASTM, así como de las especificaciones técnicas peruanas para carreteras EG-2013. Para la elaboración de los diseños de mezcla asfáltica utilizamos la norma ASTM D6926 y D6927, para determinar la deformación permanente de las mezclas asfálticas consideramos la norma AASHTO T324, para determinar la resistencia a la fatiga consideramos la norma AASHTO T321, para el módulo resiliente nos regimos bajo la norma AASHTO TP31 y para la prueba de Lottman consideramos la ASTM D4867, en general para todo proyecto de investigación académica nos regimos en base a normas y metodologías avaladas por organismos competentes.

En ese sentido concuerdo con Balvin, M. y Enríquez, R. (2020) quienes, en su estudio de tesis sobre la importancia del uso de asfaltos modificados con polímeros para aplicaciones en zonas cálidas en el Perú, realizaron todas las pruebas requeridas teniendo en cuenta las normas y métodos de prueba destinados para ello.

## ▪ DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Actualmente las mezclas asfálticas se miden según su grado de desempeño. Estos simulan las condiciones a las cuales será sometida la carpeta asfáltica. Por ello, en las especificaciones técnicas EG-2013 también están contemplados.

La deformación permanente medida a través de la Rueda de Hamburgo arrojó resultados contundentes sobre la resistencia de las mezclas asfálticas al daño por cargas y humedad. La mezcla con asfalto modificado tuvo una deformación de 1.69 mm a las 20000 pasadas de la rueda, sin embargo, la mezcla con asfalto convencional no llegó a completar las 20000 pasadas ya que antes alcanzó la deformación máxima de 12.50 mm a las 13850 pasadas.

Respecto al módulo resiliente, podemos ver que los resultados también favorecen a la mezcla con asfalto modificado, los valores obtenidos están dentro de lo esperado. Un módulo de 4376 Mpa para una mezcla asfáltica modificada es una mezcla buena. Si analizamos la mezcla convencional podemos ver que tiene un valor no muy lejano de 3783 Mpa, más sin embargo su deformación recuperable es mayor que el de la mezcla modificada, esto indica que, si se está recuperando más es porque se deforma más, con ello la discusión de este resultado quedaría satisfecho.

Para los resultados obtenidos de la prueba de fatiga, también vemos una diferencia muy pronunciada. Se obtuvo más de 2 millones de ciclos con la mezcla modificada frente a casi 161 mil ciclos con la mezcla convencional. En esta prueba de vida fatiga es donde también se aprecia una gran diferencia en resultados obtenidos entre mezclas modificadas y convencionales y es que el polímero en el asfalto permite la flexibilidad de la viga y, al contrario de la mezcla convencional no se torna rígida y se evitan los fisuramientos prematuros en la pista.

En este sentido, y por todo lo expuesto, concuerdo con Alarcón, D. y Cárdenas, M. (2021), cuya investigación se basa precisamente en la optimización de las propiedades de la mezcla asfáltica mediante la adición de polímero e incremento de su vida útil y niveles de servicialidad.

## **4.2. CONCLUSIONES**

### **▪ DE LOS ASFALTOS UTILIZADOS PARA LOS DISEÑOS DE MEZCLA**

Se evaluaron las propiedades de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS Betutec 60/85 y en base a los resultados obtenidos, se logró determinar que es la indicada para soportar el tipo de tráfico requerido en la zona de estudio. Las pruebas de calidad realizadas a los asfaltos fueron determinantes en su elección.

### **▪ DE LAS NORMAS TECNICAS UTILIZADAS**

Se realizaron todas las pruebas requeridas teniendo en cuenta las normas técnicas vigentes de la AASHTO para la obtención de resultados de acuerdo a estándares internacionales.

Los parámetros considerados para la aprobación de los resultados corresponden a las especificaciones técnicas vigentes de las EG-2013 los cuales permitieron la culminación del estudio de investigación.

### **▪ DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS**

Se analizaron los resultados obtenidos y se concluyó que, en base a estos, la mezcla asfáltica modificada presentó mejor performance, obteniéndose mejor desempeño en: Rueda de Hamburgo, Modulo Resiliente y Vida de Fatiga. Se comprobó que la mezcla asfáltica modificada con polímero es más conveniente a largo plazo.

## CAPÍTULO V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AEMAC, Vol. 4 Núm. 3. 2020. Estudio del comportamiento reológico de los asfaltos modificados con polímeros.  
<https://revista.aemac.org/materiales-compuestos/article/view/397>
2. [Ahmadinia, E., Zagar, M., Karim, M. Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., & Ahmadinia, E. \(2012\). Performance evaluation of utilization of waste polyethylene terephthalate \(PET\) in stone mastic asphalt. Construction and Building Materials, Vol. 36, 984–989.](#)
3. Alvarado, R. & Francia J. (2021), Influencia del asfalto altamente modificado (HIMA) sobre la fluencia y la capacidad de soporte de cargas del pavimento flexible en la Av. Zarumilla, Lima-Perú 2021.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29021>
4. Asfalto Perú (2019) El asfalto y su importancia para la descentralización del país.  
<https://www.asfaltoperu.com/el-asfalto-y-su-importancia-para-la-descentralizacion-del-pais/>
5. Asphalt Institute MS-19 Manual de emulsiones asfálticas  
<https://es.scribd.com/document/95086432/Emulsiones-Asfalticas-Instituto-del-Asfalto>
6. [Bañez, F. \(2020\) Análisis de capacidad y nivel de servicio de la vía Chavín – San Marcos, Huari, Ancash 2020.](#)  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60088/Ba%C3%B1ez\\_MFE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60088/Ba%C3%B1ez_MFE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

7. [Boza, J. \(2022\) Incorporación de polímeros SBS para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas en el jirón Ricardo Palma en Sapallanga – Huancayo 2021](#)  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88734>
  
8. Cabrera N. (2012) Influencia de los procesos de transporte y almacenaje en las propiedades viscoelásticas de un ligante asfáltico 60/70 Plus  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11111/CabreraCorreaNicolas2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  
9. Chávez, J (2017) Análisis de la carpeta asfáltica modificada con polímero SBS en el clima frígido de la región Junín – Yauli. 2017.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1391/Chavez\\_AJJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1391/Chavez_AJJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
  
[Condor, J. \(2014\). Comportamiento del asfalto PEN 85/100 modificado con polímeros SBS aplicado en el mantenimiento de carreteras costeras aplicación Sullana - Aguas verdes, Lima - 2014.](#)  
  
[Tesis \(título de ingeniero civil\). Lima: Universidad Nacional De Ingeniería, 2014.](#)
  
10. Cruz J. & Vallejos E. (2013) Asfalto de alta resistencia  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/de\\_l\\_a/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/de_l_a/capitulo1.pdf)
  
11. Evaluación de la influencia que tiene la temperatura y el tiempo de mezcla en un asfalto modificado por vía húmeda sobre la resistencia bajo carga monotónica de una mezcla de concreto asfáltico tipo mdc-25.  
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25397/OrtizPescaSergioAugusto2020.pdf;jsessionid=DF33543297DCC0DD8834665D5FC081C1?sequence=1>

12. Grupo Bitafal (2018) Asfalto  
<https://bitafal.com.uy/asfalto/>
13. Guerrero E. (2019), Influencia de la temperatura y el tiempo de mezclado en la modificación de un cemento asfáltico. Bogotá, Colombia.  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17724/2019edwinguerrero.pdf?sequence=1>
14. [Herrada, Y., Chávez, J. \(2013\). Uso de polímeros en el asfalto y su influencia en la variación de un pavimento. Universidad Privada Antenor Orrego. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Trujillo, Perú.](#)
15. Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto. Revista Lasallista de Investigación. Volumen 15 n°2 Caldas Julio/Diciembre. 2018, p.p. 315-326  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1794-44492018000200315&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-44492018000200315&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
16. Incorporación de polímeros SBS para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas en el jirón Ricardo Palma en Sapallanga – Huancayo 2021.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88734>
17. [Lanamme, Asfaltos Modificados con Polímeros: el estado de la practica en Costa Rica \(2014\) Boletín Técnico, Volumen 5 N° 59.](#)  
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/337/59.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. [López y Veloz. 2013. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. \[En línea\] 5 de mayo de 2013.](#)



<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6533>.

19. Mario Tamayo y Tamayo (Editorial Limusa, 2004 – 440 páginas) El proceso de la investigación científica.  
[https://books.google.com.co/books/about/El\\_proceso\\_de\\_la\\_investigaci%C3%B3n\\_cient%C3%ADf.html?id=BhymmEqkJwC&redir\\_esc=y&hl=es](https://books.google.com.co/books/about/El_proceso_de_la_investigaci%C3%B3n_cient%C3%ADf.html?id=BhymmEqkJwC&redir_esc=y&hl=es)
20. Metodología de la investigación (pag.17), Análisis de liderazgo y comunicación interpersonal en los equipos de trabajo del simulador de negocios de Carnegie Mellon University  
[https://books.google.com.pe/books/about/An%C3%A1lisis\\_de\\_Liderazgo\\_y\\_Comunicaci%C3%B3n\\_I.html?id=tMnGnQAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/An%C3%A1lisis_de_Liderazgo_y_Comunicaci%C3%B3n_I.html?id=tMnGnQAACAAJ&redir_esc=y)
21. Municipalidad Distrital de Lurín  
<https://munilurin.gob.pe/>
22. Palma et al (2015) Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos. México.  
<https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/312010/402105>
23. [Revista EMB Construcción \(2022\) Aciertos y falencias de la infraestructura vial en Chile](#)  
<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=427&ni=aciertos-y-falencias-de-la-infraestructura-vial-en-chile>
24. [Rodríguez, E. \(2009\) Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla](#)  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI\\_180.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
25. Salazar, J (2008) Evaluación de la factibilidad del Uso en Costa Rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta.

- <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1464/UI-01-07%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Factibilidad%20del%20uso%20en%20Costa%20Rica%20de%20pol%C3%ADmeros%20modificantes%20de%20asfalto%20incorporados.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
26. [Silvestre, D. \(2017\) Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017.](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1506/Silvestre_VDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1506/Silvestre\\_VDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1506/Silvestre_VDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
27. 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
- <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/1523>
28. [Vila R. and Jaramillo J. \(2018\) Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto. Revista Lasallista de Investigación \[online\]. 2018. Vol. 15, no. 2, p. 315–326](http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/15n2/1794-4449-rlsi1502315.pdf&clen=719121&chunk=true0000000291095)
- [chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3a%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fpdf%2Frlsi%2Fv15n2%2F1794-4449-rlsi1502315.pdf&clen=719121&chunk=true0000000291095](http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/15n2/1794-4449-rlsi1502315.pdf&clen=719121&chunk=true0000000291095)
29. Villamil E. & Ortiz S. (2020) Evaluación de la influencia que tiene la temperatura y el tiempo de mezcla en un asfalto modificado por vía húmeda sobre la resistencia bajo carga monotónica de una mezcla de concreto asfáltico tipo mdc-25
- <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25397/OrtizPescaSergioAugusto2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

30. Villegas, J. (2014), Comportamiento del asfalto PEN 85/100 modificado con polímeros SBS aplicado en el mantenimiento de carreteras costeras - Aplicación Sullana - Aguas Verdes.

<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14391>

31. Walker, D., 2014. The Benefits of Modified Asphalts. ASPHALT. The Magazine of the Asphalt Institute. Volumen 29. Issue 1, p.p. 13-19. USA.)

<https://www.redalyc.org/journal/695/69559233025/html/>

**ANEXOS**

**A.1. INSTRUMENTOS Y VALIDACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

Imagen 26. CBR calicatas en la Av. Industrial. Fuente: Paredes, G. (2021)

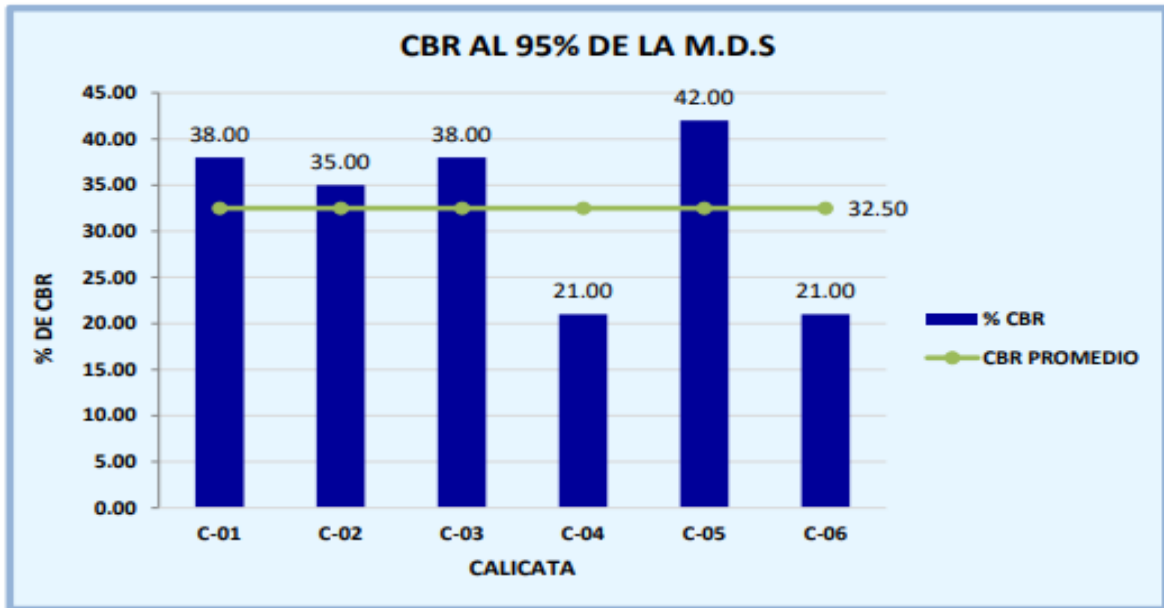


Imagen 27. Incidencia por tipos de vehículos que transitan en la Av. Industrial. Fuente: Paredes, G. (2021)

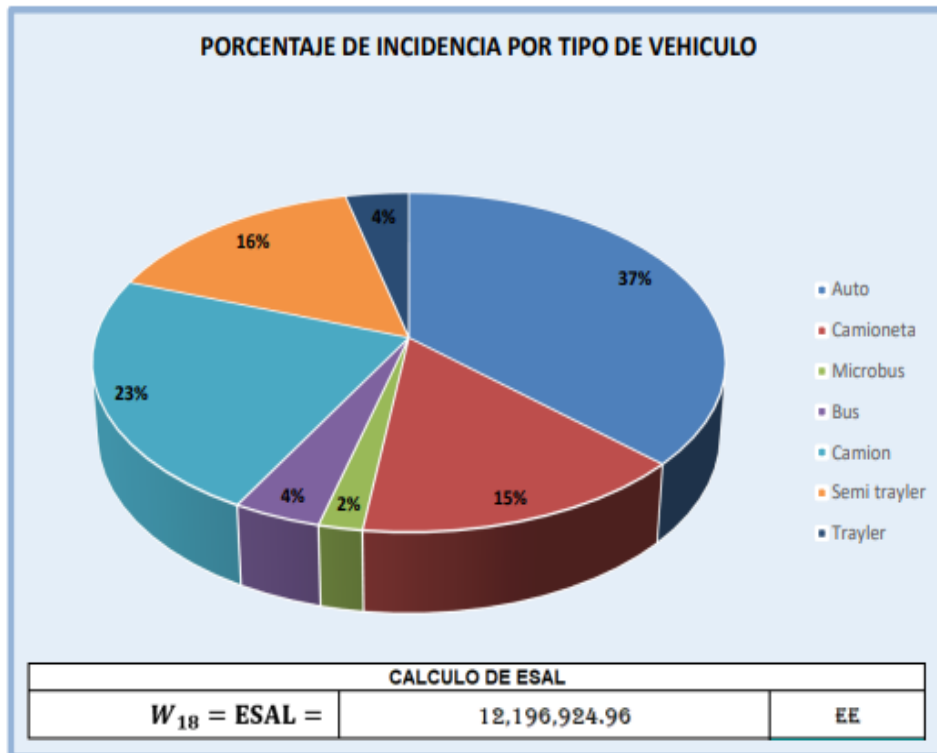


Tabla 26. Variables, dimensiones e indicadores. Fuente: Elaboración propia

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero SBS	<p>La mezcla asfáltica se puede definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto.</p> <p>Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento (Cepeda,2002).</p>	<p>Las mezclas asfálticas son producidas según las proporciones de los diseños de mezcla previamente elaborados tanto con asfalto convencional como con el asfalto modificado con polímero SBS</p>	Resultados del ensayo Marshall (diseños de mezclas)	Estabilidad
			Susceptibilidad a la humedad	Flujo Propiedades volumétricas Adherencia Wet stripping Lottman Temperatura de mezcla
Evaluación del desempeño de las mezclas asfálticas	<p>Una forma de entender el comportamiento de la mezcla asfáltica consiste en considerar los tipos de inconveniencias en pavimentos asfálticos que los ingenieros tratan de evitar como son la deformación permanente, agrietamiento por fatiga y agrietamiento por bajas temperaturas (Bahía y Anderson, 1995)</p>	<p>Las evaluaciones de desempeño serán medidas de acuerdo con los ensayos de desempeño de las mezclas asfálticas</p>	Trabajabilidad	Temperatura de compactación
			Evaluación de propiedades	Contenido asfáltico Resistencia a la deformación permanente (R. Hamburgo) Módulo de resiliencia Resistencia a la fatiga Lottman

Imagen 28. Estado actual del pavimento en la Av. Industrial. Fuente: Elaboración propia







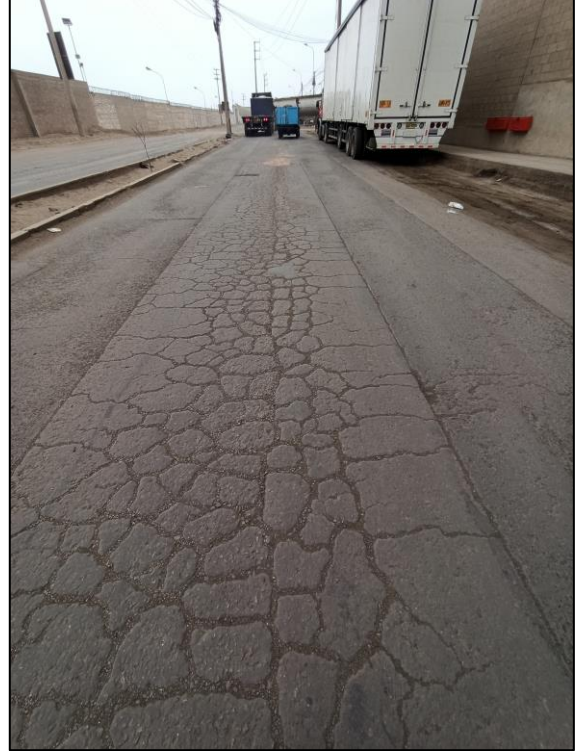
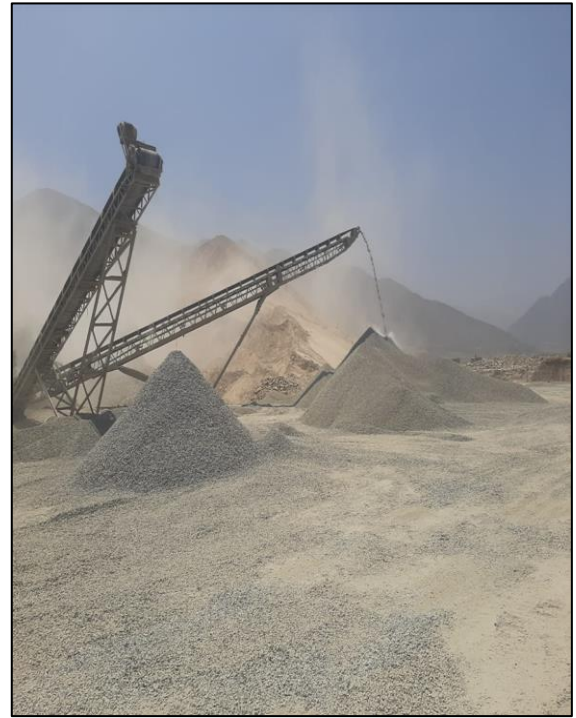






Imagen 29. Recolección de muestras de agregados.





## A.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Imagen 30. Granulometría de la piedra chancada de 1/2". Fuente: Elaboración propia

### DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA CRUSHING

DESCRIPCIÓN : PIEDRA CHANCADA 1/2"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS						
SERIE	ABERTURA	RET.	RET. PAR.	RET. AC.	PASA	ESPECIFICACIÓN
AMERICANA	(mm)	g	%	%	%	
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050				100.0	
1/2"	12.700	3275.0	38.5	38.5	61.5	
3/8"	9.525	2824.1	33.2	71.7	28.3	
1/4"	6.350	2101.1	24.7	96.4	3.6	
# 4	4.760	263.7	3.1	99.5	0.5	
# 6	3.360	42.5	0.5	100.0	0.0	
# 8	2.380					
# 10	2.000					
# 16	1.190					
# 20	0.840					
# 30	0.590					
# 40	0.426					
# 50	0.297					
# 80	0.177					
# 100	0.149					
# 200	0.074					
< # 200	(ASTM C-117)					

### CURVA GRANULOMÉTRICA

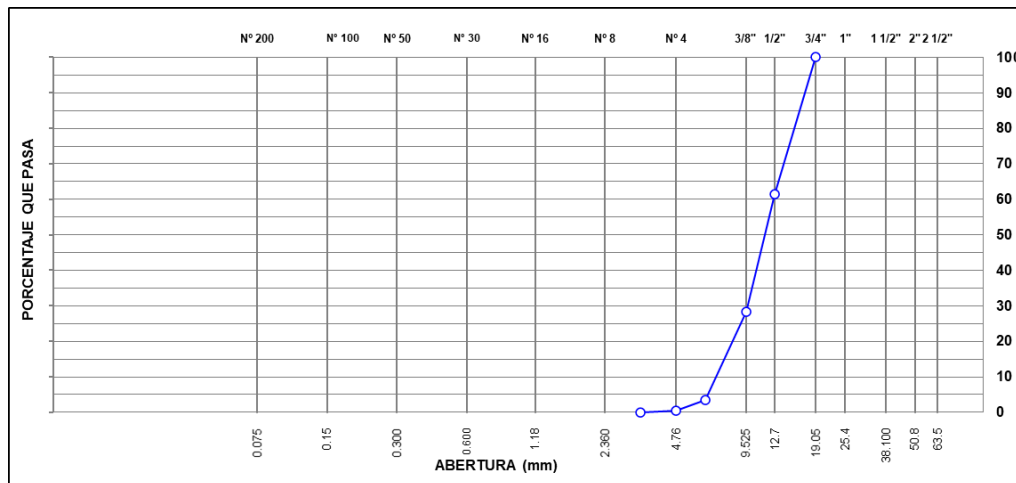


Imagen 31. Granulometría del confitillo. Fuente: Elaboración propia

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)</b>						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700				100.0	
3/8"	9.525	120.4	2.6	2.6	97.4	
1/4"	6.350	2403.2	51.9	54.5	45.5	
# 4	4.760	1518.8	32.8	87.3	12.7	
# 6	3.360	569.6	12.3	99.6	0.4	
# 8	2.380	18.5	0.4	100.0	0.0	
# 10	2.000					
# 16	1.190					
# 20	0.840					
# 30	0.590					
# 40	0.426					
# 50	0.297					
# 80	0.177					
# 100	0.149					
# 200	0.074					
< # 200	<b>(ASTM C-117)</b>					

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

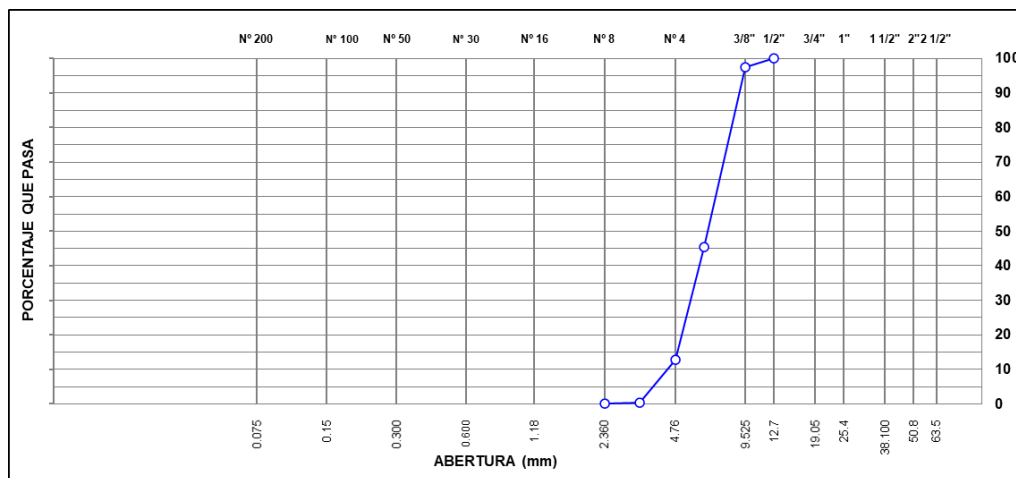


Imagen 32. Granulometría de la arena chancada. Fuente: Elaboración propia

<b>DETALLE DE LA MUESTRA</b>						
IDENTIFICACIÓN : CANTERA CRUSHING						
DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO</b>						<b>(ASTM C-136)</b>
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350				100.0	
# 4	4.760	27.6	2.2	2.2	97.8	
# 6	3.360	186.9	14.9	17.1	82.9	
# 8	2.380	207.0	16.5	33.6	66.4	
# 10	2.000	79.0	6.3	39.9	60.1	
# 16	1.190	194.4	15.5	55.4	44.6	
# 20	0.840	101.6	8.1	63.5	36.5	
# 30	0.590	53.9	4.3	67.8	32.2	
# 40	0.426	86.5	6.9	74.7	25.3	
# 50	0.297	21.3	1.7	76.4	23.6	
# 80	0.177	85.3	6.8	83.2	16.8	
# 100	0.149	21.3	1.7	84.9	15.1	
# 200	0.074	36.4	2.9	87.8	12.2	
< # 200	<b>(ASTM C-117)</b>	153.0	12.2	100.0	0.0	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

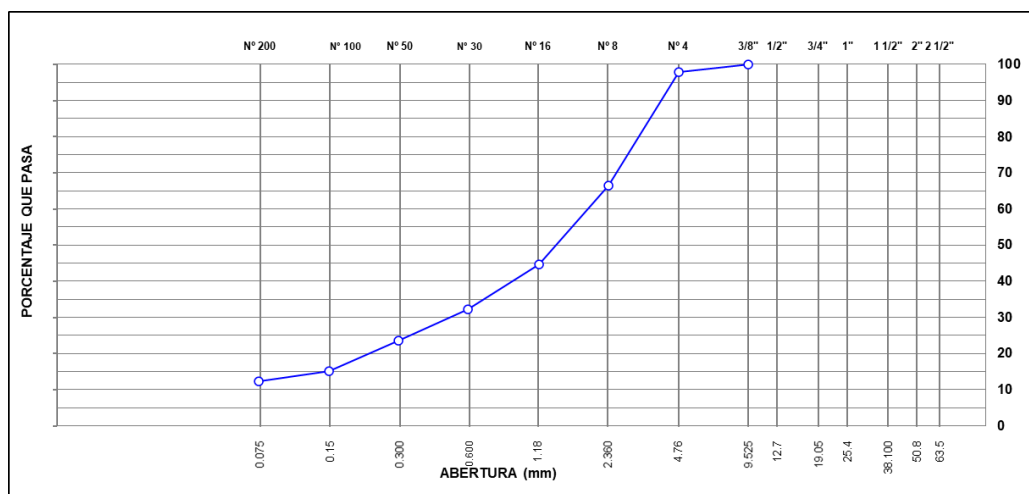


Imagen 33. Granulometría de la arena procesada. Fuente: Elaboración propia

**DETALLE DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : CANTERA CRUSHING

DESCRIPCIÓN : ARENA PROCESADA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525				100.0	
1/4"	6.350	16.9	1.5	1.5	98.5	
# 4	4.760	20.3	1.8	3.3	96.7	
# 6	3.360	124.9	11.1	14.4	85.6	
# 8	2.380	115.9	10.3	24.7	75.3	
# 10	2.000	73.1	6.5	31.2	68.8	
# 16	1.190	181.1	16.1	47.3	52.7	
# 20	0.840	101.3	9.0	56.3	43.7	
# 30	0.590	48.4	4.3	60.6	39.4	
# 40	0.426	96.8	8.6	69.2	30.8	
# 50	0.297	38.3	3.4	72.6	27.4	
# 80	0.177	135.0	12.0	84.6	15.4	
# 100	0.149	25.9	2.3	86.9	13.1	
# 200	0.074	69.8	6.2	93.1	6.9	
< # 200	(ASTM C-117)	77.6	6.9	100.0	0.0	

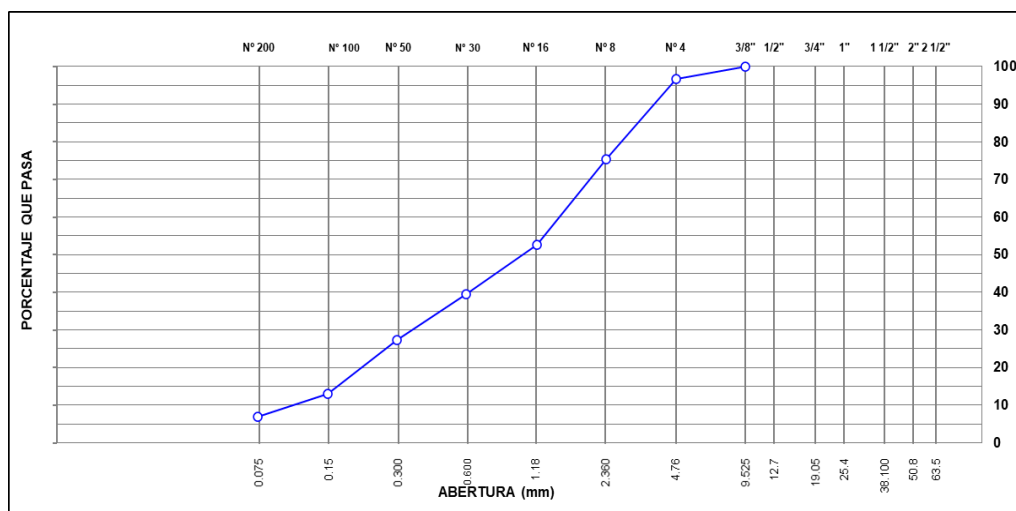
**CURVA GRANULOMÉTRICA**


Imagen 34. Combinación de agregados ASTM D3515-D5. Fuente: Elaboración propia

COMBINACIÓN TEORICA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	GRADACIÓN ASTM D3515 D-5	
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	5.8	5.8	94.2	90	100
3/8"	9.525	5.8	11.5	88.5		
1/4"	6.350	19.6	31.1	68.9		
# 4	4.760	11.4	42.5	57.5	44	74
# 6	3.360	11.2	53.7	46.3		
# 8	2.380	8.0	61.7	38.3	28	58
# 10	2.000	3.5	65.2	34.8		
# 16	1.190	8.6	73.9	26.2		
# 20	0.840	4.6	78.5	21.5		
# 30	0.590	2.4	80.9	19.2		
# 40	0.426	4.1	85.0	15.0		
# 50	0.297	1.3	86.3	13.7	5	21
# 80	0.177	4.8	91.0	9.0		
# 100	0.149	1.1	92.1	7.9		
# 200	0.074	2.3	94.4	5.7	2	10
<# 200	(A STM C-117)	5.7	100.0	0.0		

PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	15.0 %
CONFITILLO	30.0 %
ARENA CHANCADA	35.0 %
ARENA PROCESADA	20.0 %

ESPECIFICACIONES	
ESPECIFICACIÓN ASTM D 3515 D-5.	

CURVA GRANULOMÉTRICA

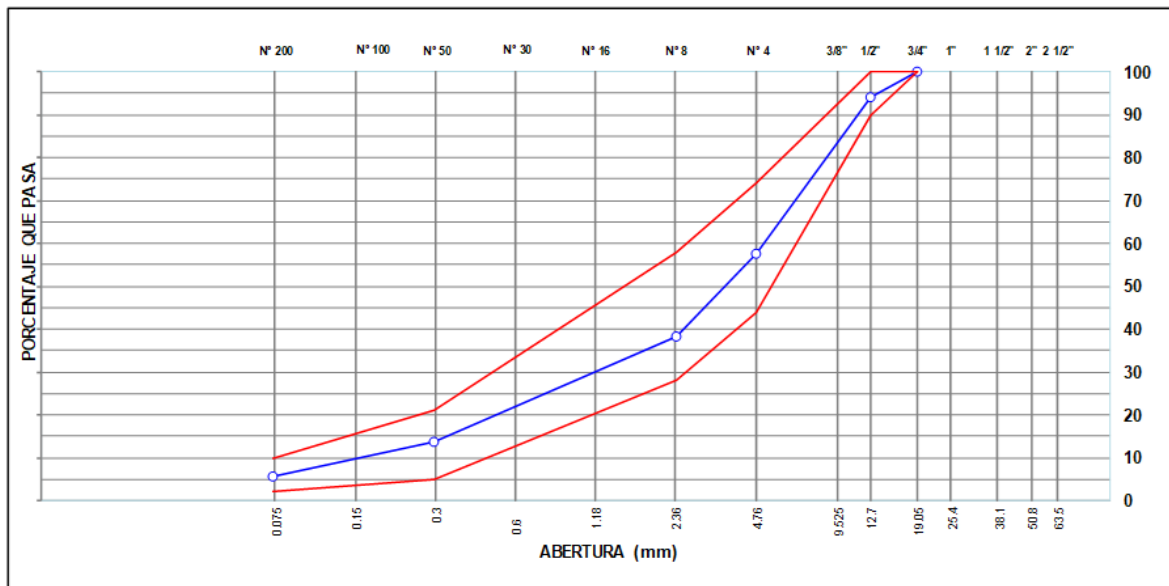




Tabla 27. Equivalentes de arena procesada. Fuente: Elaboración propia

EQUIVALENTE DE ARENA - A. PROCESADA		
Hora de Inicio de Saturación	10:30	10:35
Hora de Final de Saturación	10:40	10:45
Hora de Inicio de Decantación	10:43	10:48
Hora de Final de Decantación	11:03	11:08
<b>A) Lectura inicial</b>	5.0	4.9
<b>B) Lectura Final</b>	3.5	3.4
Resultado	70	70
Promedio	70	

Tabla 28. Equivalentes de arena chancada. Fuente: Elaboración propia

EQUIVALENTE DE ARENA - A. CHANCADA		
Hora de Inicio de Saturación	10:30	10:35
Hora de Final de Saturación	10:40	10:45
Hora de Inicio de Decantación	10:43	10:48
Hora de Final de Decantación	11:03	11:08
<b>A) Lectura inicial</b>	5.3	5.4
<b>B) Lectura Final</b>	3.2	3.2
Resultado	61	60
Promedio	61	

Tabla 29. Resultados de las pruebas de penetración. Fuente: Elaboración propia

	PENETRACIÓN	
	AMP BET.60/85	PEN 60/70
Muestra 1	59	63
Muestra 2	59	62
Muestra 3	58	62
Promedio	59	62



Tabla 30. Resultados de las pruebas de punto de inflamación. Fuente: Elaboración propia

PUNTO DE INFLAMACIÓN	
AMP BET.60/85	PEN 60/70
284	290

Tabla 31. Resultados de las pruebas de solubilidad. Fuente: Elaboración propia

	SOLUBILIDAD	
	AMP BET.60/85	PEN 60/70
P. Papel + Crisol	17.772	19.354
P. Muestra	2.056	2.012
P. Papel + Crisol + Muestra	17.773	19.358
Resultado (%)	99.95	99.80

Tabla 32. Resultados de las pruebas de punto de ablandamiento. Fuente: Elaboración propia

	PUNTO DE ABLANDAMIENTO	
	AMP BET. 60/85	PEN 60/70
	67.6	48.2
	67.4	48.0
PROMEDIO	67.5	48.1

Tabla 33. Resultados de las pruebas de ductilidad. Fuente: Elaboración propia

	DUCTILIDAD	
	AMP BET. 60/85	
	>150	>150
PROMEDIO	>150	

Tabla 34. Resultados de las pruebas de recuperación elástica lineal. Fuente: Elaboración propia

	RECUPERACION ELASTICA LINEAL	
	AMP BET. 60/85	PEN 60/70
LONG, INICIAL	20	10
LONG. FINAL 1	2.6	8.6
LONG. FINAL 2	2.6	8.6
LONG. FINAL 3	2.6	8.6
PROMEDIO	87.0	14.0

Tabla 35. Resultados de las pruebas de viscosidad cinemática. Fuente: Elaboración propia

	VISCOCIDAD CINEMÁTICA	
	AMP BET.60/85	PEN 60/70
Tiempo (s)	163	41
Factor de corrección	10.31	10.31
Resultado (cSt)	1680.5	422.7

Tabla 36. Resultados de las pruebas de viscosidad brookfield. Fuente: Elaboración propia

	VISCOCIDAD BROOKFIELD A 135°C	
	AMP BET.60/85	PEN 60/70
Resultado (cP)	1648	412.5

Tabla 37. Caracterización del AMP Betutec 60/85. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS		METODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
				MINIMO	MAXIMO	
PENETRACION	5 s, 25 °C	D-5	dmm	40	70	<b>59</b>
PUNTO DE ABLANDAMIENTO		D-36	°C	60	--	<b>67.5</b>
PUNTO DE INFLAMACION		D-92	°C	235	--	<b>284</b>
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO		D-2042	%	99	--	<b>99.95</b>
VISCOSIDAD BROOKFIELD	20 rpm, 135 °C	D-4402	cP	--	3000	<b>1648</b>
VISCOSIDAD BROOKFIELD	50 rpm, 150 °C	D-4402	cP	--	2000	<b>755</b>
VISCOSIDAD BROOKFIELD	100 rpm, 177 °C	D-4402	cP	--	1000	<b>250</b>
RECUPERACION ELASTICA LINEAL	25°C, 20 cm	D-6084	%	85	--	<b>87</b>
<b>ESTABILIDAD A ALMACENAMIENTO</b>	<b>163 °C, 48 horas</b>	<b>D 7173</b>		<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>	
DIFERENCIA EN PUNTO DE ABLANDAMIENTO		D-36	°C	--	5	<b>1.3</b>
<b>RESIDUO DESPUES DE PELICULA DELGADA ROTATORIA</b>		<b>D 2872</b>		<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>	
VARIACIÓN DE MASA	%	D-2872	%	--	1.0	<b>-0.350</b>
VARIACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO		D-36	°C	-5	+7	<b>3.3</b>
PENETRACIÓN 25 °C, 5 s	% DEL ORIGINAL	D-5	%	60	--	<b>65</b>
RECUPERACION ELASTICA LINEAL, 25°C cm % DEL ORIGINAL		D-6084	%	80	--	<b>89.6</b>

Tabla 38. Caracterización del PEN 60/70 Plus. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS		METODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
				MINIMO	MAXIMO	
PENETRACION	5 s, 25 °C	D-5	dmm	60	70	<b>62</b>
PUNTO DE INFLAMACION		D-92	°C	232	--	<b>290</b>
GRAVEDAD ESPECIFICA	15.6/15.6°C	D-70		Reportar		
DUCTILIDAD	5 cm/min, 25°C	D-113	cm	100	--	<b>&gt;150</b>
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO		D-2042	%	99	--	<b>99.80</b>
<b>EFFECTO DE CALOR Y AIRE (PELICULA FINA)</b>		<b>D-1754</b>		<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>	
PERDIDA POR CALENTAMIENTO		D-1754	%	--	0.8	<b>0.20</b>
PENETRACION RETENIDA	% original	D-5		52	--	<b>70</b>
DUCTILIDAD	5 cm/min, 25°C	D-113	cm	50	--	<b>122</b>
<b>INDICE DE PENETRACION</b>		* Francés RLB		-1	1	<b>-0.7</b>
<b>FLUIDEZ</b>				<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>	
VISCOSIDAD CINEMATICA	100°C	D-2170	cSt	Reportar		<b>5240</b>
VISCOSIDAD CINEMATICA	135°C	D-2170	cSt	200	--	<b>422.7</b>

Tabla 39. Huso granulométrico. Fuente: ASTM D3515

Abertura de malla	Mezclas cerradas / Mezcla densa								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2" (50 mm)	1 1/2" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	N° 4 (4.75 mm)	N° 8 (2.36 mm)	N° 16 (1.18 mm)
Gradación de agregados (grava; fino y filler si se requiere) en peso									
2 1/2" (63 mm)	100 - 100								
2" (50 mm)	90 - 100	100 - 100							
1 1/2" (37.5 mm)		90 - 100	100 - 100						
1" (25.0 mm)	60 - 80		90 - 100	100 - 100					
3/4" (19 mm)		56 - 80			100 - 100				
1/2" (12.5 mm)	35 - 65		56 - 80		90 - 100	100 - 100			
3/8" (9.5 mm)				56 - 80		90 - 100	100 - 100		
N° 4 (4.75 mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 53	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100		100 - 100
N° 8 (2.36 mm)	13 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100		95 - 100
N° 16 (1.18 mm)							40 - 80		85 - 100
N° 30 (600 mm)							35 - 65		70 - 95
N° 50 (300 mm)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40		45 - 75
N° 100 (150 mm)							3 - 20		20 - 40
N° 200 (75 mm)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10		9 - 20

Tabla 40. Cuadro de resumen de diseño de mezcla asfáltica modificada. Fuente: Elaboración propia

<b>1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)</b>			
<u>CANTERA CRUSHING</u>			
PIEDRA CHANCADA 1/2"	:	15%	
CONFITILLO	:	30%	
ARENA CHANCADA	:	35%	
ARENA PROCESADA	:	20%	
	:	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	
	:	ASTM D3515 D-5	
<b>2.- LIGANTE BITUMINOSO</b>			
Tipo de asfalto	:	BETUTEC 60/85	
% óptimo de C.A.	:	5.30	
<b>3.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO</b>			
Nº DE GOLPES		<b>75</b>	
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)		<b>5.10</b>	<b>5.30</b>
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2.419</b>	<b>2.423</b>
VACIOS (%)		<b>4.5</b>	<b>4.0</b>
V.M.A. (%)		<b>15.39</b>	<b>15.42</b>
R.B.V. (%)		<b>70.1</b>	<b>73.0</b>
FLUJO (0,25 mm)		<b>12.5</b>	<b>12.7</b>
ESTABILIDAD (kg)		<b>1744.0</b>	<b>1784.0</b>
Relación polvo - asfalto		<b>1.23</b>	<b>1.18</b>
<b>4.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)</b>			
Según carta de viscosidad			
Temperatura Mezcla:		162 °C - 168.8 °C	
Temperatura de Compactación:		152.3 °C - 162.0 °C	

Tabla 41. Cuadro de cálculos de la mezcla asfáltica modificada. Fuente: Elaboración propia

N° BRIQUETAS	1	1-A	1-B*	2	2-A	2-B*	3	3-A	3-B*	4	4-A	4-B*	5	5-A	5-B*
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5
2 % A. GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	42.98	42.98	42.98	42.75	42.75	42.75	42.53	42.53	42.53	42.30	42.30	42.30	42.08	42.08	42.08
3 % A. FINO EN PESO DE LA MEZCLA	52.53	52.53	52.53	52.25	52.25	52.25	51.98	51.98	51.98	51.70	51.70	51.70	51.43	51.43	51.43
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A. APARENTE	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
6 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714
7 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO FINO	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713
9 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1185.7	1171.4	1168.3	1182.5	1188.9	1180.0	1185.3	1185.1	1186.6	1181.7	1176.7	1186.8	1181.9	1174.8	1173.3
10 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1197.1	1180.9	1176.9	1187.5	1196.3	1187.6	1189.2	1190.8	1191.8	1184.1	1180.4	1189.2	1185.5	1178.4	1176.8
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	702.1	692.1	691.4	698.1	703.8	699.9	701.1	702.6	702.4	697.8	697.2	700.8	700.0	696.1	695.0
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	495.0	488.8	485.5	489.4	492.5	487.7	488.1	488.2	489.4	486.3	483.2	488.4	485.5	482.3	481.8
13 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.395	2.396	2.406	2.416	2.414	2.420	2.428	2.427	2.425	2.430	2.435	2.430	2.434	2.436	2.435
14 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm³)- ASTM I	2.388	2.389	2.399	2.409	2.407	2.413	2.421	2.420	2.418	2.423	2.428	2.423	2.427	2.429	2.428
15 PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.556	2.556	2.556	2.536	2.536	2.536	2.516	2.516	2.516	2.497	2.497	2.497	2.477	2.477	2.477
16 % VACIOS - ASTM D 3203	6.3	6.3	5.9	4.7	4.8	4.6	3.5	3.5	3.6	2.7	2.5	2.7	1.8	1.7	1.7
17 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713
18 V.M.A. (%)	15.7	15.7	15.3	15.4	15.5	15.3	15.4	15.5	15.5	15.8	15.6	15.8	16.1	16.1	16.1
19 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	59.9	59.9	61.4	69.5	69.0	69.9	77.3	77.4	76.8	82.9	84.0	82.9	88.8	89.4	89.4
20 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753	2.753
21 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
22 % ASFALTO EFECTIVO	3.99	3.99	3.99	4.49	4.49	4.49	5.00	5.00	5.00	5.49	5.49	5.49	6.00	6.00	6.00
23 FLUJO (0,01pulgada)	12.0	11.0	12.0	12.0	13.0	12.0	13.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	13.0	15.0
24 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1454	1475	1572	1665	1517	1568	1657	1665	1674	1708	1665	1640	1496	1471	1560
25 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.14	1.14
26 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1585	1608	1714	1815	1654	1709	1806	1815	1824	1861	1815	1788	1631	1677	1778

Gráfico 19. Curvas de diseño de la mezcla asfáltica convencional. Fuente: Elaboración propia

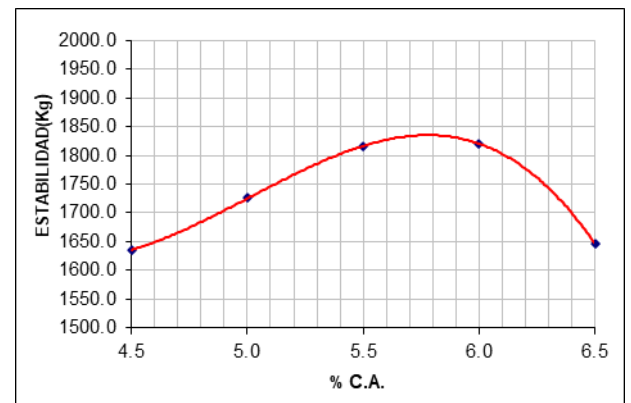
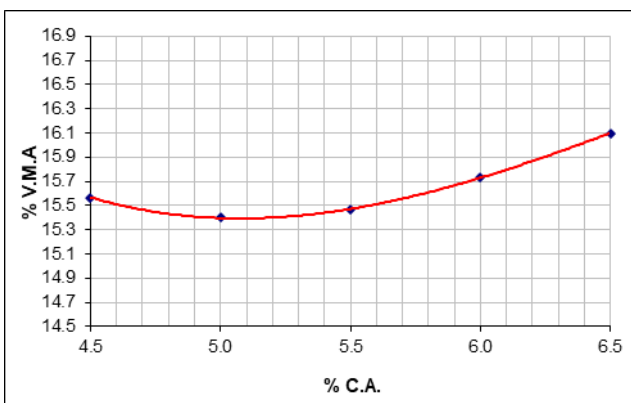
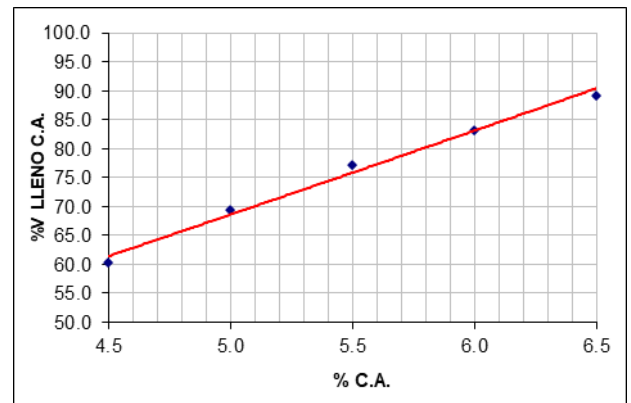
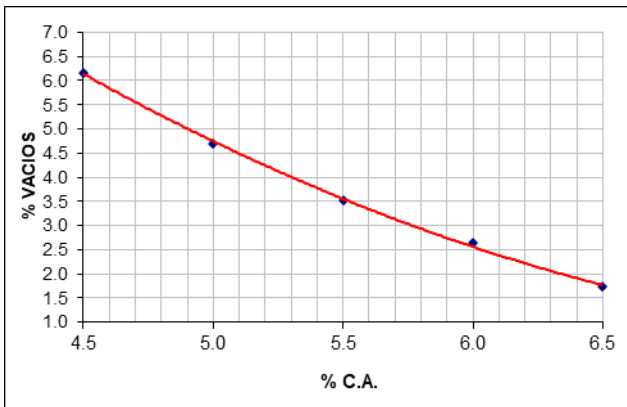
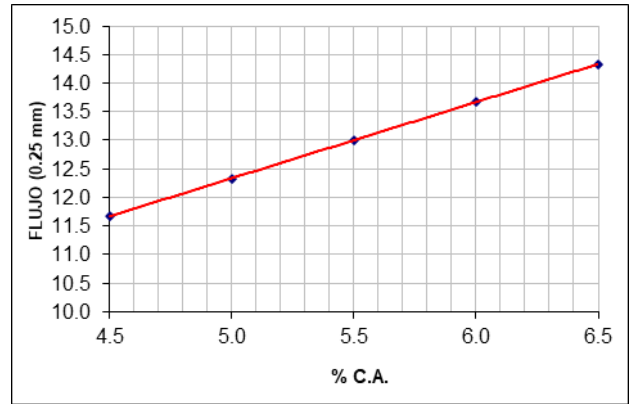
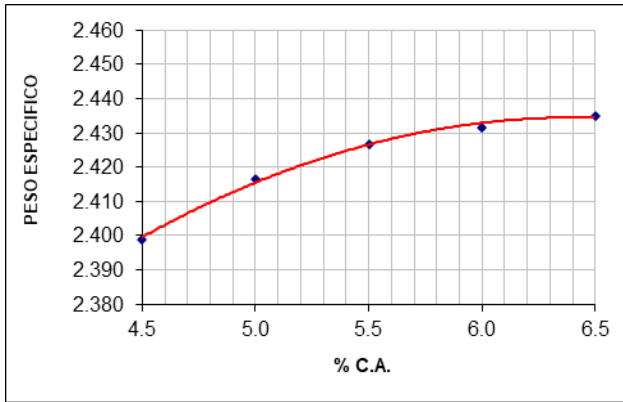


Tabla 42. Cuadro de resumen de diseño de mezcla asfáltica convencional. Fuente: Elaboración propia

---

**1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)**

---

**CANTERA CRUSHING**

PIEDRA CHANCADA 1/2"	: 15%
CONFITILLO	: 30%
ARENA CHANCADA	: 35%
ARENA PROCESADA	: 20%
	: ESPECIFICACIÓN TECNICA
	: ASTM D3515 D-5

**2.- LIGANTE BITUMINOSO**

Tipo de asfalto	: ASFALTO 60/70 PLUS
% óptimo de C.A.	: 5.30

**3.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO**

---

Nº DE GOLPES	75		
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.10	5.30	5.50
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	2.423	2.429	2.434
VACIOS (%)	4.5	4.0	3.5
V.M.A. (%)	15.30	15.26	15.26
R.B.V. (%)	69.3	72.4	75.5
FLUJO (0,25 mm)	12.7	13.4	14.0
ESTABILIDAD (kg)	1498.0	1514.0	1523.0
Relación polvo - asfalto	1.25	1.19	1.15

---

**4.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)**

Según carta de viscosidad

---

Temperatura Mezcla:	154.0 °C - 158.0 °C
Temperatura de Compactación:	144.0 °C - 147.0 °C

---



Tabla 43. Cuadro de cálculos de la mezcla asfáltica convencional. Fuente: Elaboración propia

	N° BRIQUETAS	1	1-A	1-B*	2	2-A	2-B*	3	3-A	3-B*	4	4-A	4-B*	5	5-A	5-B*
1	% C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5
2	% A. GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	42.98	42.98	42.98	42.75	42.75	42.75	42.53	42.53	42.53	42.30	42.30	42.30	42.08	42.08	42.08
3	% A. FINO EN PESO DE LA MEZCLA	52.53	52.53	52.53	52.25	52.25	52.25	51.98	51.98	51.98	51.70	51.70	51.70	51.43	51.43	51.43
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A. APARENTE	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
6	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714	2.714
7	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO FINO	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713
9	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1151.3	1154.6	1153.0	1154.6	1145.7	1152.2	1158.1	1154.6	1155.3	1160.2	1160.2	1160.2	1159.6	1160.5	1162.2
10	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1154.6	1160.6	1155.5	1158.3	1147.7	1154.2	1159.6	1155.2	1156.4	1161.7	1160.8	1162.1	1160.2	1161.5	1163.2
11	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	675.4	679.0	673.7	680.2	674.2	677.6	684.1	681.2	680.5	687.4	685.8	685.9	685.5	686.6	686.7
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm <sup>3</sup> )	479.2	481.6	481.8	478.1	473.5	476.6	475.5	474.0	475.9	474.3	475.0	476.2	474.7	474.9	476.5
13	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.403	2.397	2.393	2.415	2.420	2.418	2.436	2.436	2.428	2.446	2.443	2.436	2.443	2.444	2.439
14	PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm <sup>3</sup> ) - ASTM I	2.396	2.390	2.386	2.408	2.413	2.411	2.429	2.429	2.421	2.439	2.436	2.429	2.436	2.437	2.432
15	PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.562	2.562	2.562	2.540	2.540	2.540	2.521	2.521	2.521	2.503	2.503	2.503	2.484	2.484	2.484
16	% VACIOS - ASTM D 3203	6.2	6.4	6.6	4.9	4.7	4.8	3.4	3.4	3.7	2.3	2.4	2.7	1.6	1.6	1.8
17	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713
18	V.M.A. (%)	15.4	15.6	15.8	15.4	15.3	15.3	15.2	15.2	15.4	15.3	15.4	15.6	15.8	15.8	16.0
19	% VACIOS LLENADOS CON C.A.	59.7	59.0	58.2	68.2	69.3	68.6	77.6	77.6	76.0	85.0	84.4	82.7	89.9	89.9	88.8
20	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.760	2.760	2.760	2.757	2.757	2.757	2.759	2.759	2.759	2.760	2.760	2.760	2.761	2.761	2.761
21	ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
22	% ASFALTO EFECTIVO	3.90	3.90	3.90	4.43	4.43	4.43	4.91	4.91	4.91	5.40	5.40	5.40	5.90	5.90	5.90
23	FLUJO (0,01pulgada)	11.0	11.0	10.0	12.0	12.0	13.0	14.0	14.0	14.0	15.0	16.0	15.0	16.0	16.0	17.0
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1221	1263	1284	1284	1306	1327	1348	1335	1327	1335	1348	1284	1263	1200	1238
25	FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1392	1440	1464	1464	1488	1513	1537	1522	1513	1522	1537	1464	1440	1368	1411

Gráfico 20. Curvas de diseño de la mezcla asfáltica convencional. Fuente: Elaboración propia

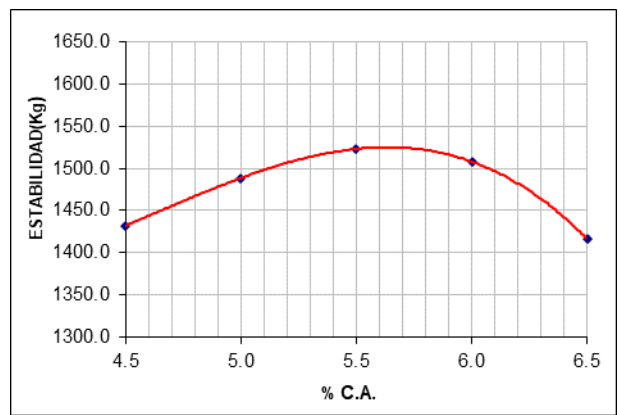
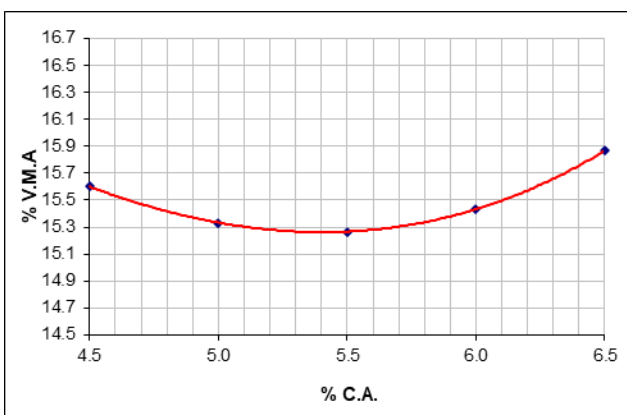
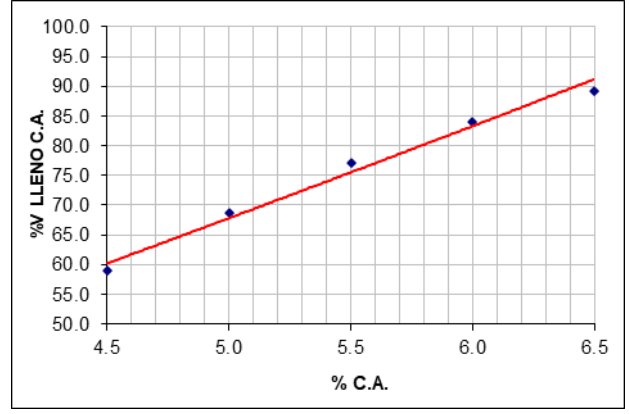
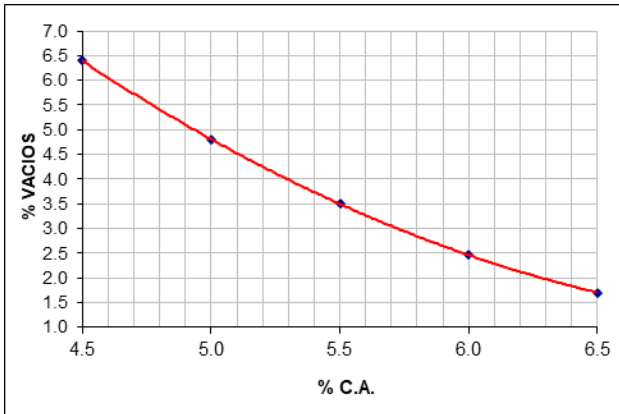
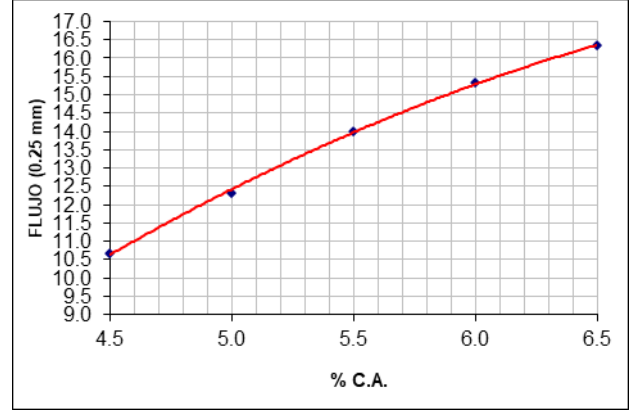
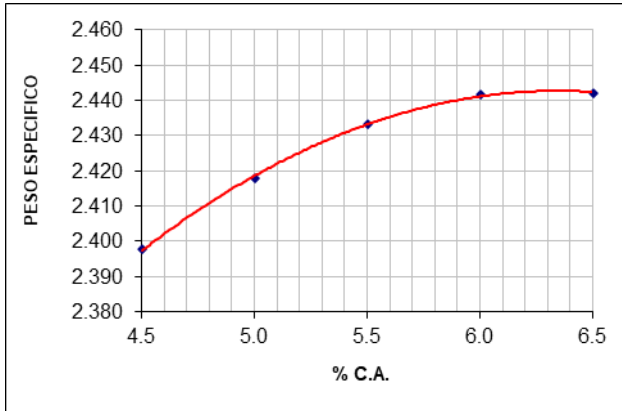


Gráfico 21. Ensayos de Rueda de Hamburgo Mezcla Asfáltica Modificada. Fuente: Elaboración propia

**RESULTADOS FINALES**

PROFUNDIDAD FINAL RUT. : 1.69 mm

TIPO DE MEDIO TÉRMICO : AGUA

FEEDBACK UTILIZADO : EN EL TANQUE

TEMPERATURA MÁXIMA : 50.5 °C

TEMPERATURA MÍNIMA : 49.9 °C

PASADAS : 20000

**OBSERVACIONES**

■ ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.

■ SE ELEGIÓ EL METODO DE ENSAYO AASHTO T-324 SEGÚN NOTA DE TABLA 1. CRITERIOS DE DISEÑO DE ASFALTO DE LA NORMA FAA.

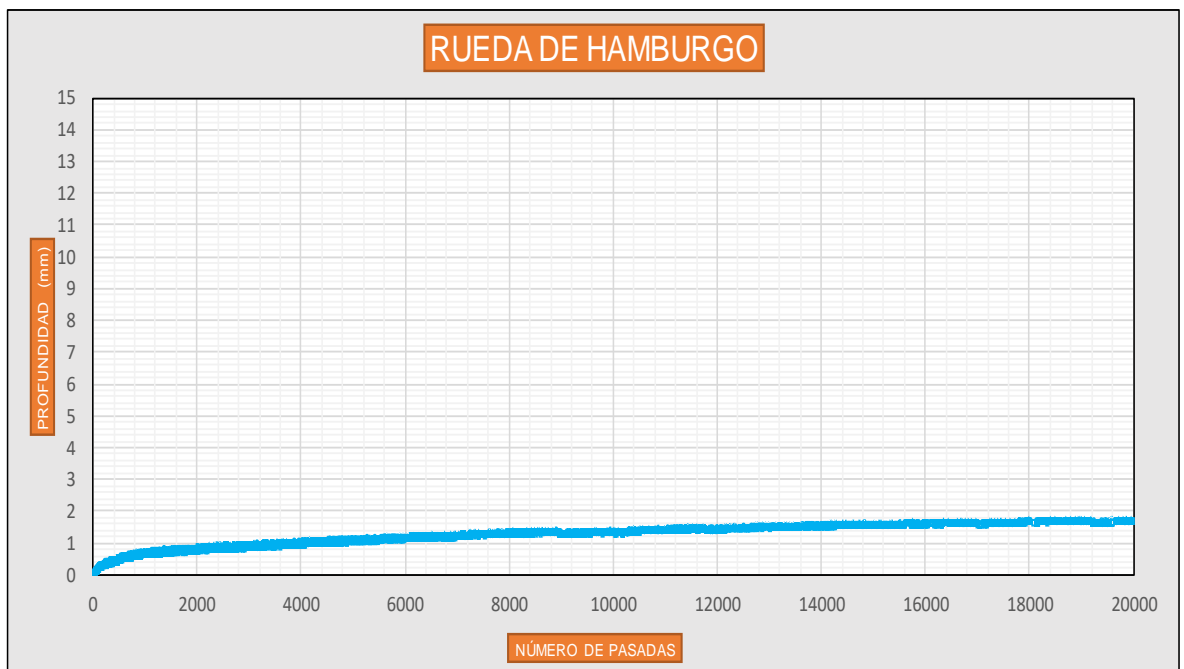


Imagen 35. Especímenes de prueba con mezcla asfáltica modificada.

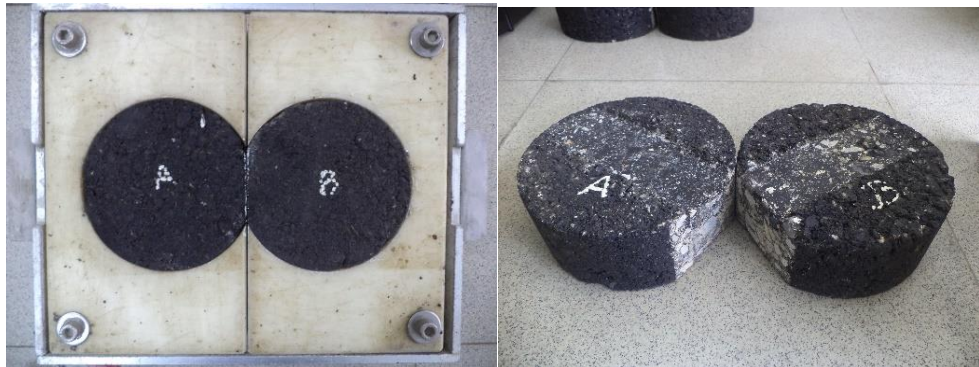


Gráfico 22. Ensayos de Rueda de Hamburgo Mezcla Asfáltica Convencional. Fuente: Elaboración propia

**RESULTADOS FINALES**

PROFUNDIDAD FINAL RUT. : 12.50 mm

TIPO DE MEDIO TÉRMICO : AGUA

FEEDBACK UTILIZADO : EN EL TANQUE

TEMPERATURA MÁXIMA : 50.5 °C

TEMPERATURA MÍNIMA : 49.9 °C

PASADAS : 13850

**OBSERVACIONES**

■ ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.

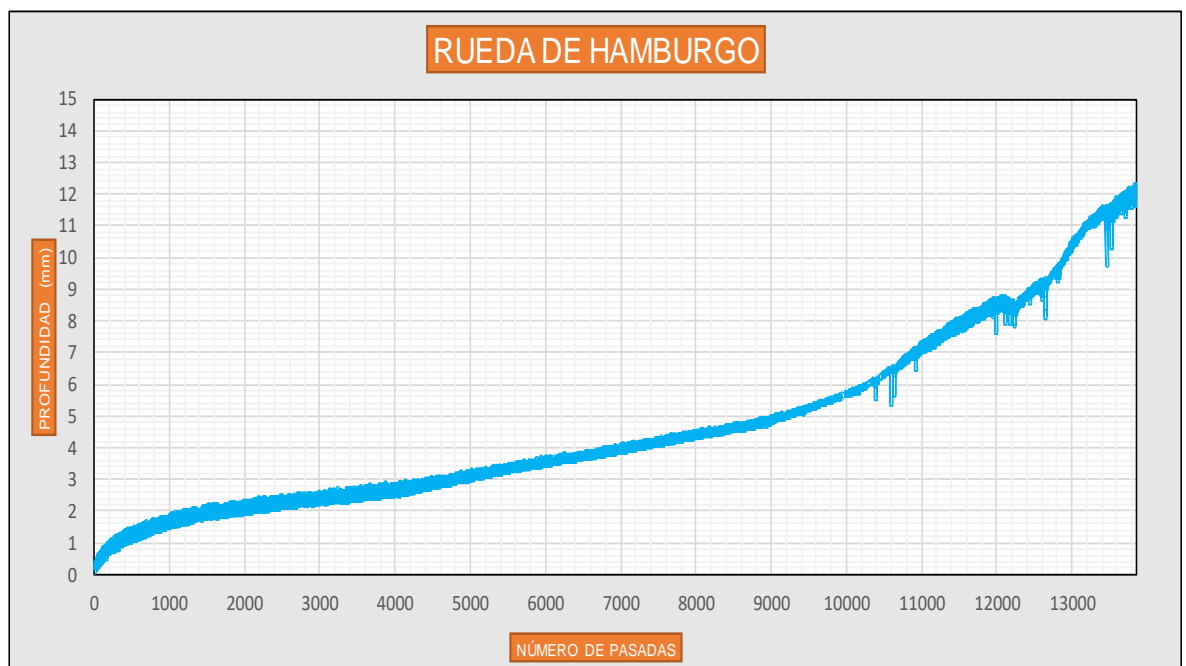


Imagen 36. Especímenes de prueba con mezcla asfáltica convencional.



Gráfico 23. Ensayos de Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica Modificada. Fuente: Elaboración propia

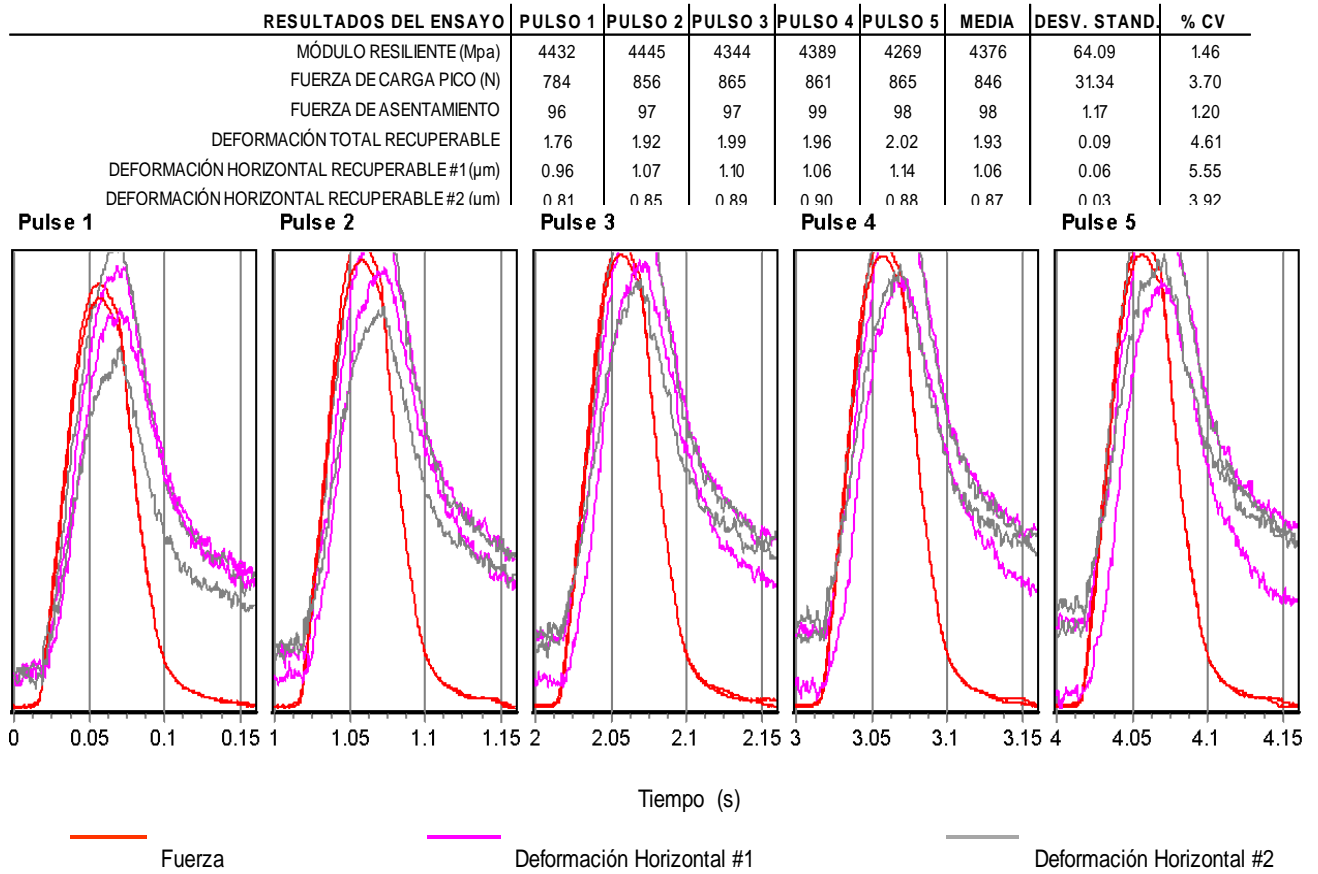


Imagen 37. Especímenes de prueba con mezcla asfáltica modificada.





Gráfico 24. Ensayos de Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica Convencional. Fuente: Elaboración propia

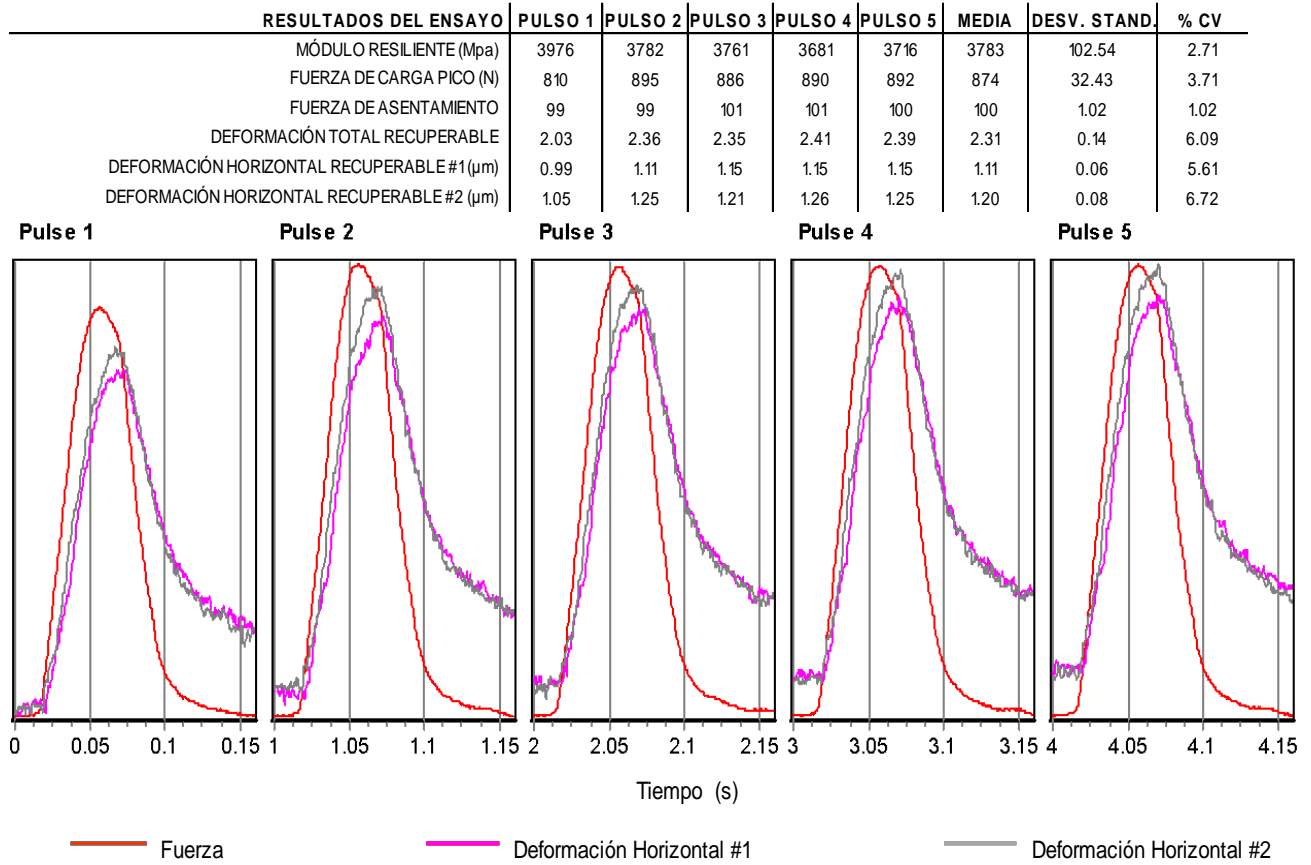


Imagen 38. Especímenes de prueba con mezcla asfáltica modificada.



Imagen 39. Maquina Universal UTM para Ensayo de vida fatiga

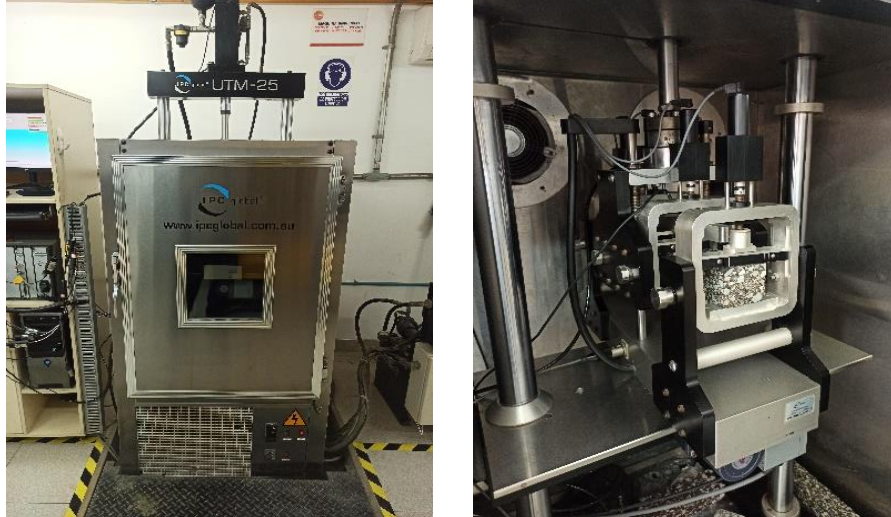


Gráfico 25. Especimen de prueba de la Mezcla Asfáltica Modificada. Fuente: Elaboración propia

	INICIAL	FINAL		INICIAL	FINAL		INICIAL	FINAL
CARGA APLICADA (kN) :	0.8684	0.4926	ESFUERZO DE TENSION (kPa) :	1894	1074	TEMP. DEL NUCLEO (°C) :	20.4	20.4
CARGA MAXIMA (kN) :	0.4271	0.2188	DEFORMACION DE TENSION (µε) :	754	749	TEMP. DE LA SUPERFICIE (°C) :	19.8	19.8
CARGA MINIMA (kN) :	-0.4413	-0.2737	ANGULO DE FASE (deg) :	38.3	47.9			
DEFLEXION DE LA VIGA (mm) :	0.3979	0.3954	RIGIDEZ FLEXURAL (Mpa) :	2511	1433	RIGIDEZ FLEXURAL FINAL (MPa) :		1256
LVDT MAXIMO (mm) :	0.0750	0.0739	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa) :	2675	1527	MODULO NORMALIZADO X CICLOS (Pa/Pa) :		24289.9
LVDT MINIMO (mm) :	-0.1240	-0.1238	ENERGIA DISIPADA (kJ/m3) :	0.632	0.421			

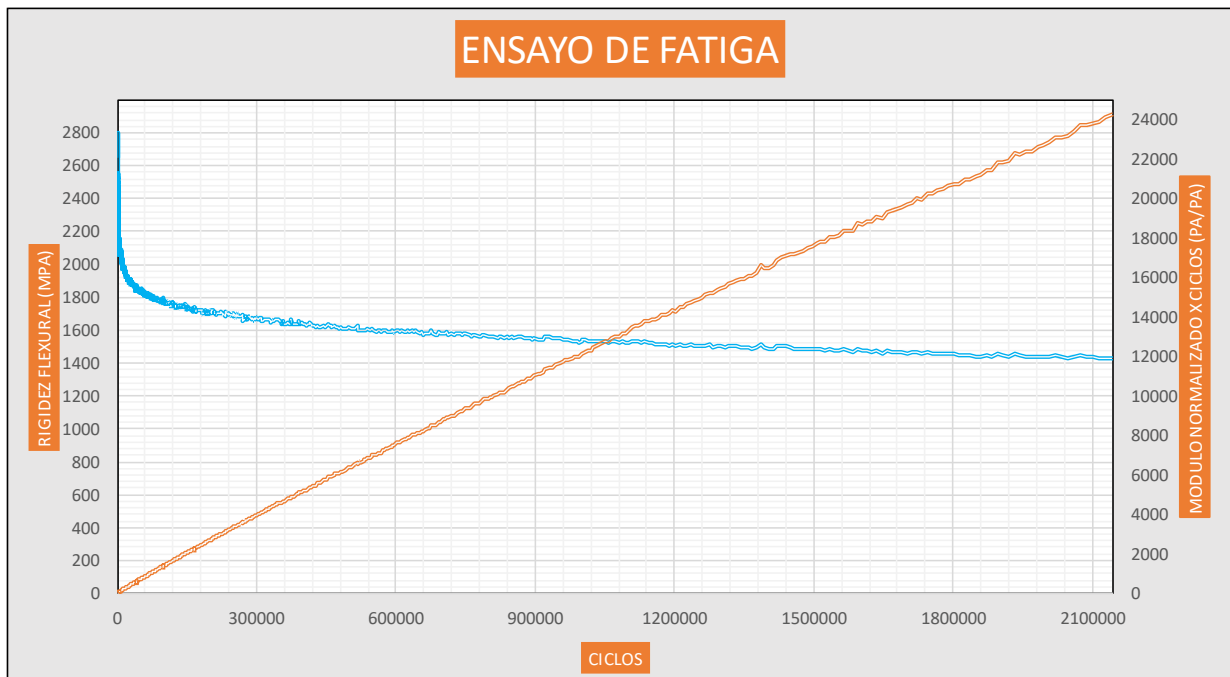


Imagen 40. Especimen de prueba con mezcla asfáltica modificada.



Gráfico 26. Ensayo de Vida Fatiga de la Mezcla Asfáltica Convencional. Fuente: Elaboración propia

	INICIAL	FINAL		INICIAL	FINAL		INICIAL	FINAL
CARGA APLICADA (kN) :	1.1261	0.5699	ESFUERZO DE TENSION (kPa) :	2413	1221	TEMP. DEL NUCLEO (°C) :	20	19.9
CARGA MAXIMA (kN) :	0.5869	0.2618	DEFORMACION DE TENSION (με) :	750	751	TEMP. DE LA SUPERFICIE (°C) :	19.9	20.1
CARGA MINIMA (kN) :	-0.5392	-0.3081	ANGULO DE FASE (deg) :	25.4	36.4			
DEFLEXION DE LA VIGA (mm) :	0.3959	0.3966	RIGIDEZ FLEXURAL (Mpa) :	3218	1623	RIGIDEZ FLEXURAL FINAL (MPA) :		1609
LVDT MAXIMO (mm) :	0.1432	0.1431	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa) :	3428	1732	MODULO NORMALIZADO X CICLOS (Pa/Pa) :		1597.3
LVDT MINIMO (mm) :	-0.0548	-0.0552	ENERGIA DISIPADA (kJ/m3) :	0.577	0.381			

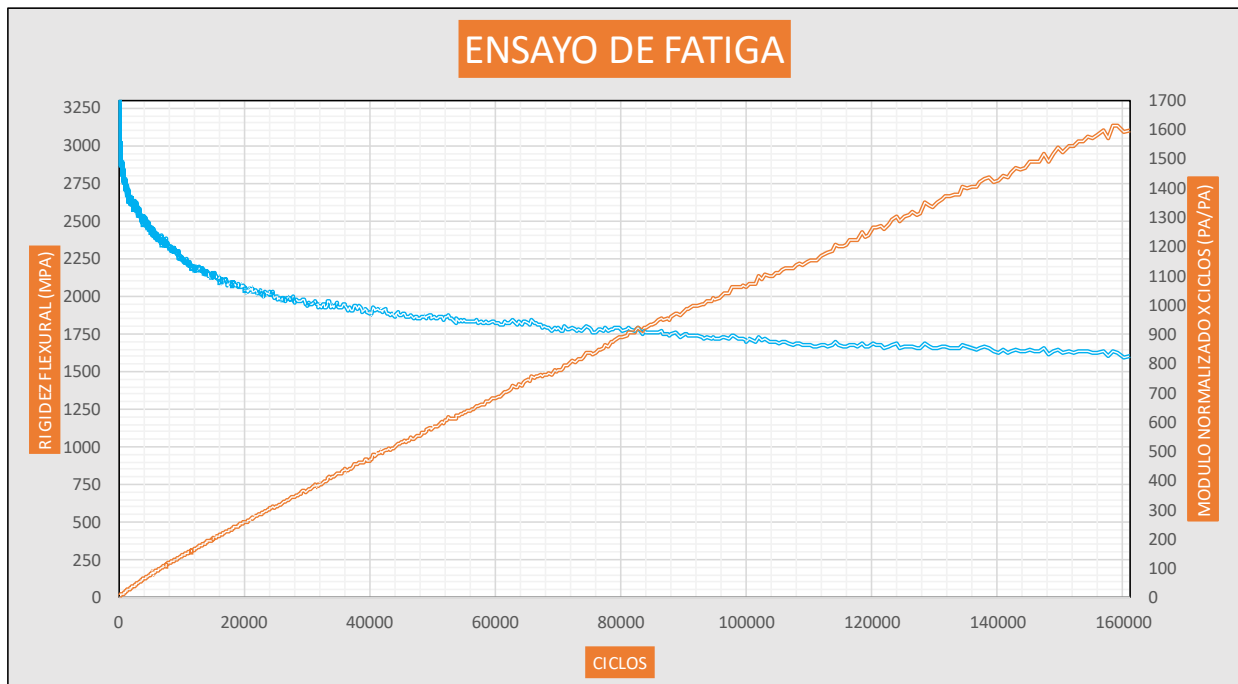




Imagen 41. Espécimen de prueba con mezcla asfáltica convencional.



Imagen 42. Especímenes de prueba del ensayo de Lottman.







Asfalto Modificado con Polímero Betutec 60/85	Asfalto Convencional PEN 60/70 Plus
 	 
	

Tabla 44. Ensayo de Lottman de la Mezcla Asfáltica Modificada Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE LOTTMAN - ASFALTO MODIFICADO BETUTEC 60/85						
	Condición Seca			Condición Húmeda		
Muestra	1	2	3	4	5	6
Diámetro (pulg)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Altura (pulg)	2.44	2.44	2.45	2.45	2.45	2.45
W. Aire (g)	1101.1	1101.4	1100.4	1100.0	1100.7	1100.6
W. SSS (g)	1110.9	1110.8	1109.7	1108.4	1109.9	1110.4
W. Agua (g)	640.8	641.6	641.2	640.1	641.5	640.7
Volumen (cm <sup>3</sup> )	470.1	469.2	468.5	468.3	468.4	469.7
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.342	2.347	2.349	2.349	2.350	2.343
% Vacíos	7.5	7.4	7.3	7.3	7.3	7.5
Someter a Condición Saturada						
70% Sat.				1123.9	1124.5	1125.4
80% Sat.				1127.4	1127.9	1128.9
Promedio				1125.6	1126.2	1127.2
Peso Sat.				1124.8	1126.3	1126.5
% Satur.				72.5	75.3	73.2
Condición temperatura ambiente				Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C		
W. Aire (g)				1100.0	1100.7	1100.6
W.SSS (g)				1130.1	1131.8	1132.0
W. Agua (g)				660.3	661.2	660.9
Volumen (cm <sup>3</sup> )				469.8	470.6	471.1
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )				2.341	2.339	2.336
% Vacíos				7.6	7.7	7.8
Altura (pulg)	2.44	2.44	2.45	2.45	2.46	2.45
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	1239	1258	1258	1058	1087	1039
Seco (STD)	80.8	82.1	81.8			
Húmedo (STM)				68.7	70.4	67.5
	No Condicionada			Condicionada		
	81.6			68.9		
TSR				84.4 %		

Tabla 45. Ensayo de Lottman de la Mezcla Asfáltica Convencional Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE LOTTOMAN - ASFALTO CONVENCIONAL PEN 60/70 PLUS						
	Condición Seca			Condición Húmeda		
Muestra	1	2	3	4	5	6
Diámetro (pulg)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Altura (pulg)	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
W. Aire (g)	1121.0	1121.0	1121.5	1121.8	1121.5	1121.1
W.SSS (g)	1126.9	1126.7	1127.1	1128.5	1126.2	1126.5
W. Agua (g)	648.5	648.8	648.2	649.4	647.3	648.0
Volumen (cm <sup>3</sup> )	478.4	477.9	478.9	479.1	478.9	478.5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.343	2.346	2.342	2.341	2.342	2.343
% Vacíos	7.0	6.9	7.0	7.1	7.0	7.0
Someter a Condición Saturada						
55% Sat.				1140.4	1140.0	1139.5
80% Sat.				1148.9	1148.4	1147.8
Promedio				1144.7	1144.2	1143.7
Peso Sat.				1147.1	1146.6	1146.0
% Satur.				74.7	74.6	74.5
Condición temperatura ambiente				Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C		
W. Aire (g)				1121.8	1121.5	1121.1
W.SSS (g)				1148.9	1150.3	1149.2
W. Agua (g)				668.8	670.6	669.8
Volumen (cm <sup>3</sup> )				480.1	479.7	479.4
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )				2.337	2.338	2.339
% Vacíos				7.2	7.2	7.2
Altura (pulg)	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	1638	1629	1629	1258	1277	1353
Seco (STD)	105.1	104.5	104.5			
Húmedo (STM)				80.7	81.9	86.8
No Condicionada			Condicionada			
104.7			83.1			
TSR				79.4 %		

Tabla 46. Resultados de las pruebas de Lottman. Fuente: Elaboración propia

LOTTMAN - % TSR		Variación (%)
AMP BET.60/85	PEN 60/70	
84.4	79.4	5.9

Gráfico 27. Comparativo de Lottman

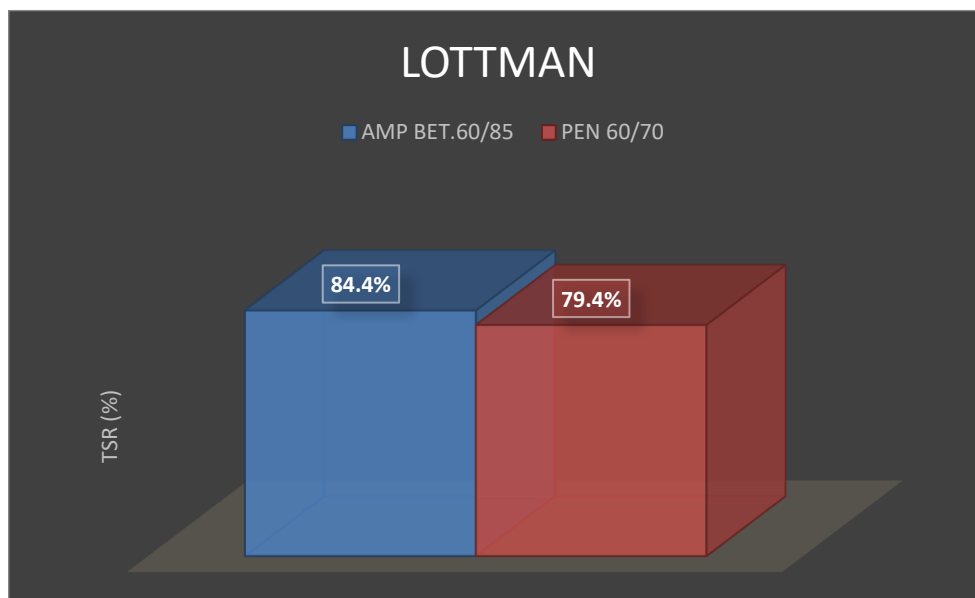


Tabla 47. Resultados volumétricos. Fuente: Elaboración propia

Diseños de Mezcla Asfáltica - ASTM D3515 D5			
Tipo de Asfalto	Contenido Optimo	Estabilidad Kgf	Flujo (0.25 mm)
Betutec 60/85	5.30%	1768	12.9
PEN 60/70	5.30%	1521	13.1

Gráfico 28. Volumetría de diseños de mezcla

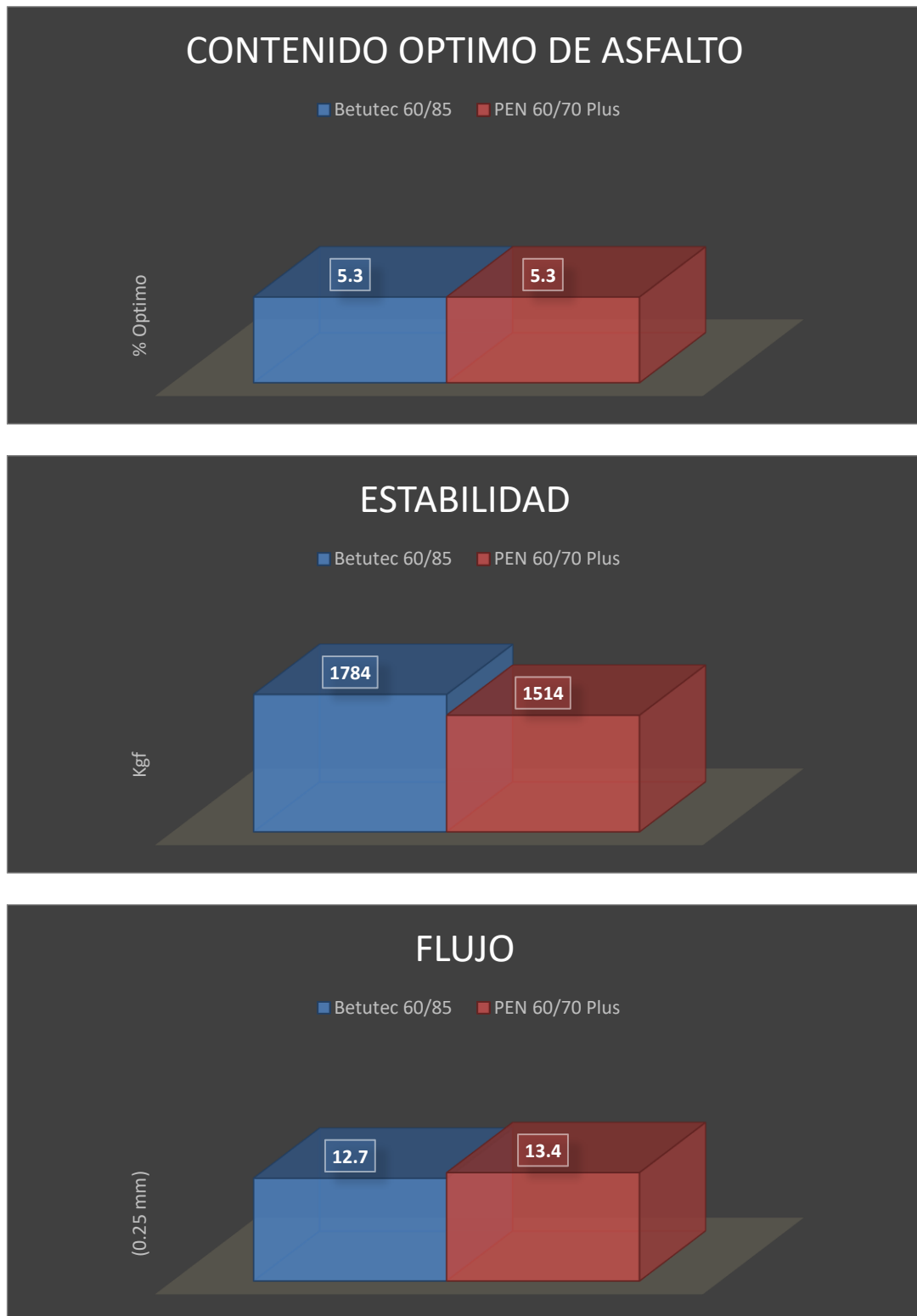


Tabla 48. Resultados de las pruebas de Hamburgo. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Contenido Optimo	N° Pasadas	Deformación (mm)	Variación (%)
Betutec 60/85	5.30%	20000	1.69	86.5
PEN 60/70 Plus	5.30%	13850	12.50	

Gráfico 29. Deformación permanente de los especímenes de mezcla

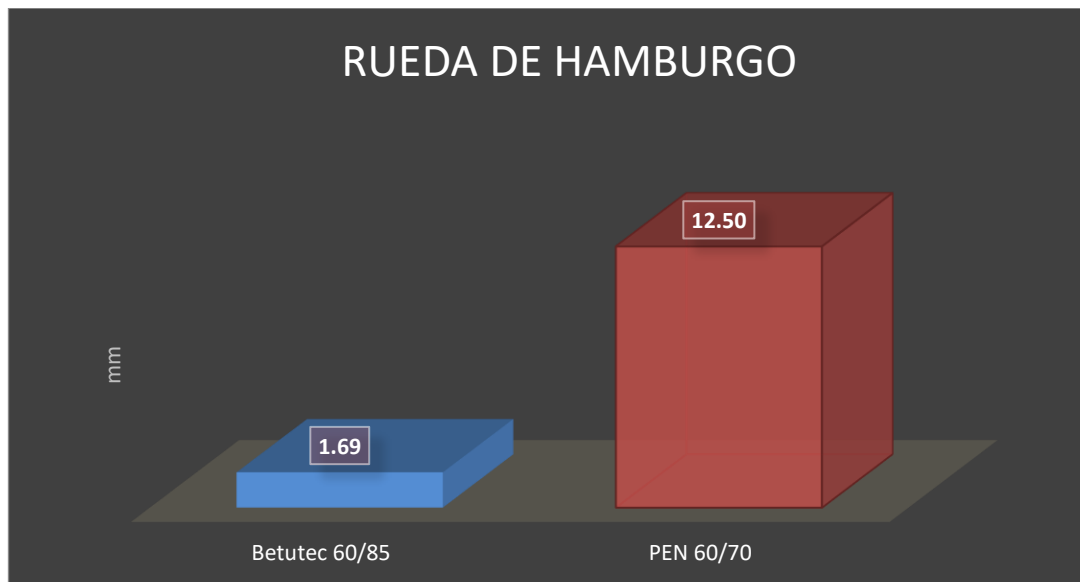


Tabla 49. Resultados de las pruebas de Módulo resiliente. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Contenido Optimo	Def. Recup.	Modulo Resiliente (Mpa)	Variación (%)
Betutec 60/85	5.30%	1.93 $\mu$ m	4376	13.6
PEN 60/70 Plus	5.30%	2.31 $\mu$ m	3783	

Gráfico 30. Deformación elástica recuperable de los especímenes de mezcla

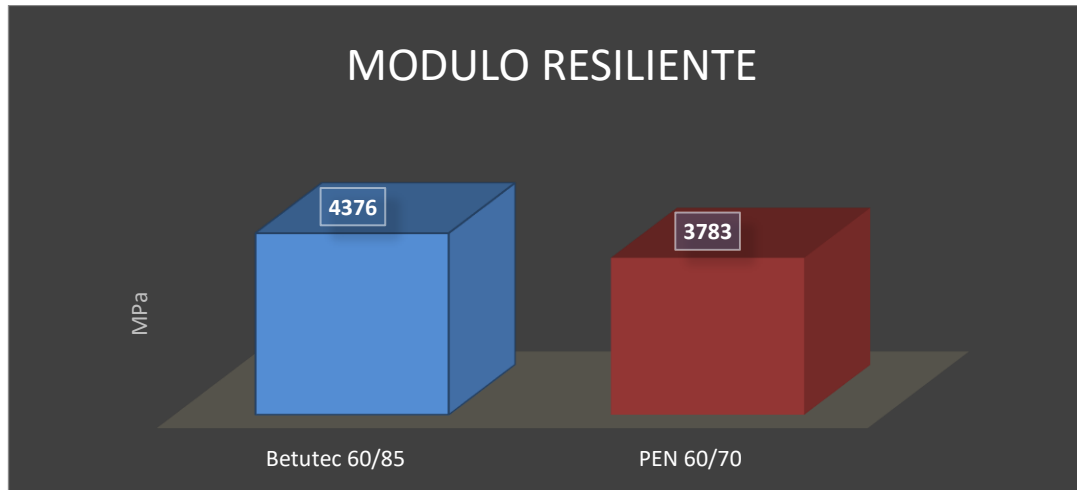


Tabla 50. Resultados de las pruebas de Módulo resiliente. Fuente: Elaboración propia

Tipo de Asfalto	Contenido Optimo	Ciclos	Rigidez Flexural	Variación (%)
Betutec 60/85	5.30%	2143000	1433	92.5
PEN 60/70 Plus	5.30%	161102	1623	

Gráfico 31. Resistencia a la fatiga de los especímenes de mezcla

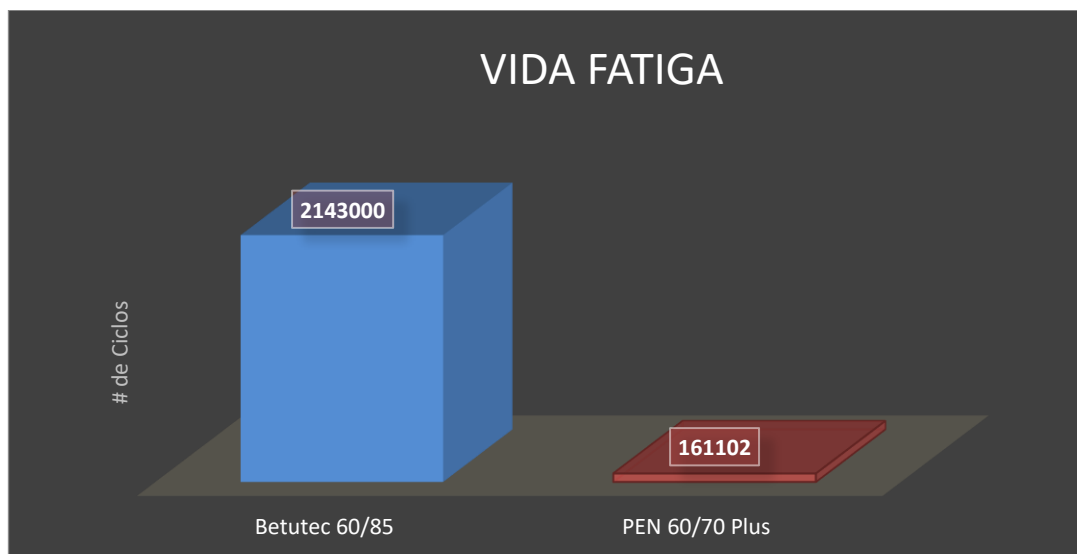



Imagen 43. Informe de calidad del AMP Betutec 60/85



## TDM ASFALTOS

### BETUTEC 60/85

GUIA TDM ASFALTOS : \_\_\_\_\_

CLIENTE: GUILLERMO VERA BONZANO

TANQUE: \_\_\_\_\_ CINTILLO DE SEGURIDAD N°: \_\_\_\_\_

LOTE DE PRODUCCIÓN: \_\_\_\_\_

CANTIDAD: 2 GALONES

FECHA DE PRODUCCIÓN: 03-08-22

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MINIMO	MAXIMO	
PENETRACION 5 s, 25 °C	D-5	dmm	40	70	65
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36	°C	60	--	64
PUNTO DE INFLAMACION	D-92	°C	235	--	284
VISCOSIDAD BROOKFIELD 20 rpm, 135 °C	D-4402	cP	--	3000	1375.0
VISCOSIDAD BROOKFIELD 50 rpm, 150 °C	D-4402	cP	--	2000	658.0
VISCOSIDAD BROOKFIELD 100 rpm, 177 °C	D-4402	cP	--	1000	220.0
RECUPERACION ELASTICA LINEAL 25°C, 20 cm	D-6084	%	85	--	86.5
<b>ESTABILIDAD A ALMACENAMIENTO</b> 163 °C, 48 horas	D 7173		MINIMO	MAXIMO	
DIFERENCIA EN PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36	°C	--	5	1.3
<b>RESIDUO DESPUES DE PELICULA DELGADA ROTATORIA</b>	D 2872		MINIMO	MAXIMO	
VARIACION DE MASA %	D 2872	%	--	1.0	-0.350
VARIACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36	°C	-5	+7	3.3
PENETRACION 25 °C, 5 s % DEL ORIGINAL	D-5	%	60	--	65
RECUPERACION ELASTICA LINEAL, 25°C cm % DEL ORIGINAL	D-6084	%	80	--	90.2


  

OBSERVACIONES:

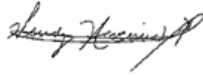
1. El producto cumple especificaciones de calidad, en concordancia con DNIT 129/2011 - EM
2. Los resultados solo corresponden a la muestra analizada.
3. No presenta espuma a 163 °C

Original: Cliente  
Cargo: Laboratorio



Hector Huapaya Ñ.  
Laboratorista



Wendy Herencia  
Jefe del Área Técnica


  

Fecha de Emisión : Lima, 03 de Agosto del 2022



Imagen 44. Ficha Técnica del AMP Betutec 60/85

## FICHA TÉCNICA BETUTEC 60/85 ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO



**DESCRIPCIÓN**  
Es un cemento asfáltico modificado con polímero elastómero del tipo estireno-butadieno-estireno (SBS).

**VENTAJAS**  
Las mezclas asfálticas fabricadas con BETUTEC 60/85 ofrecen las siguientes ventajas técnicas:

- Reducción de la susceptibilidad térmica.
- Aumento de la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas.
- Incremento del módulo de rigidez a altas temperaturas.
- Mayor adhesividad de los agregados.
- Aumento de la resistencia a la tracción y a la elongación.
- Incremento de la vida útil de los pavimentos, por su mayor resistencia al envejecimiento, a la propagación de grietas y a la formación de ahuellamientos.
- Reduce los costos de mantenimiento, produciendo rentabilidad económica con el tiempo.

**ESPECIFICACIONES**

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	BETUTEC 60/85	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Penetración, 25°C, 5 s, dmm	D 5	40	70
Punto de ablandamiento, °C	D 36	60	---
Punto de inflamación, °C	D 92	235	---
Viscosidad Brookfield, 135°C, cP, 20 rpm	D 4402	---	3000
Viscosidad Brookfield, 150°C, cP, 50 rpm	D 4402	---	2000
Viscosidad Brookfield, 177°C, cP, 100 rpm	D 4402	---	1000
Recuperación elástica lineal, 25°C, %, 20 cm, %	D 6084	85	---
Estabilidad al almacenamiento, 163°C, 48 horas	D 7173	MÍNIMO	MÁXIMO
Diferencia en Punto de ablandamiento, °C	D 36	---	5
Sobre el residuo después de Película Delgada Rotatoria	D 2872	MÍNIMO	MÁXIMO
Variación de masa, %	D 2872	---	1
Variación del Punto de ablandamiento, °C	D 36	-5	7
Penetración, 25°C, 5 s, % del original	D 5	60	---
Recuperación elástica lineal, 25°C, 20 cm, % del original	D 6084	80	---



En concordancia a la especificación DNIT 129/2011-EM.

**PRESENTACIÓN**  
A granel.

**ALMACENAMIENTO**  
BETUTEC 60/85 puede ser dañado por calentamiento a altas temperaturas (encima de 190oC), recalentamientos sucesivos ó prolongados. Normalmente se entrega en planta entre rangos de temperatura altos (160 - 175oC) y deberá ser descargado en tanques exentos de residuos de asfalto convencional u otro material que afecte la calidad del producto. Se recomienda durante el almacenamiento por un período superior a 5 días, almacenar el producto a temperatura más baja que la usual (100 - 120oC), siendo la máxima recomendable para períodos cortos de almacenamiento de 165oC. Almacenar a temperatura ambiente, si el producto quedará por largos períodos (20 días ó más).  
La temperatura a lo largo del tanque deberá ser uniforme y la distribución de calor deberá ocurrir de forma homogénea a través de la utilización de una bomba de recirculación. El calentamiento nunca deberá realizarse de forma directa y si, en tanques que cuenten con un serpentín de fluido térmico.

[www.grupotdm.com](http://www.grupotdm.com)

Imagen 45. Informe de calidad del Asfalto PEN 60-70 Repsol

 <b>REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFÁLTICO 60/70</b>		<b>LOTE No. 60/70-001-08-2023</b>
<b>REVISORA LA PAMPILLA S.A.S</b> Cuzco a Venecia km 26.641 Venecia	<b>RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b> C000001 13-05-21	<b>FECHA DE CERTIFICACIÓN</b> 23/05/21 10:06:33
<b>PROYECTO</b> Camino Asfáltico 6070	<b>TANQUE</b> 221A	<b>DISTRITO DE PRODUCTO</b> Operaciones de Comercio
<b>PROVENIENCIA</b> Atacama Norte	<b>VOLÚMEN CERTIFICADO, m<sup>3</sup></b> 1500	<b>GRUPO TANQUE</b>
PROPÓSITO	MÉTODOS	RESULTADOS
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		
Penetración a 25 °C, 100g, 5s, 1/8" (mm)	D 5 (ASTM) T 48	66
<b>DISCIÓN</b>		
Ductilidad a 25 °C, 1 cm/min, cm	B 10 (ASTM) F 154	+ 150
<b>VALORES</b>		
Viscosidad específica a 150 °C (cSt)	B 10 (ASTM) F 154	1.028
Punto de inflamación, °C	B 92 (ASTM) T 48	255.0
Densidad (API, °API)	D 155 (ASTM) T 200	4.7
<b>FLUÍDO</b>		
Punto de Ablandamiento, °C	D 36	46.8
Viscosidad cinemática a 130°C, cSt	D 445	196.1
Viscosidad cinemática a 150°C, cSt	D 445 (ASTM) T 201	42.8
<b>ENSAYOS DE PEQUEÑA ESCALA</b>		
Pérdida por Calentamiento, % (m)	D 154 (ASTM) T 170	0.11
Pérdida volúmica, 300g, 60, 1/10 min, % del original	D 5 (ASTM) T 48	88.8
Ductilidad de tracción a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113 (ASTM) T 81	+ 150
<b>CONCLUSIONES</b>		
PRODUCTO CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MARCO NORMATIVO TÉCNICO PERUANO NTP 101.001		
<b>DISTRIBUCIÓN</b> - Operaciones de Comercio - T.Y.T. - Laboratorio	<b>FECHA DE EMISIÓN</b> 23/05/2021	<b>LABORATORIO</b>  Pedro Ramos R. Director de Laboratorio

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PRECIZAL