



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA  
ASFALTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO  
CON POLÍMEROS Y TEREFTALATO DE POLIETILENO  
USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA**

**Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFTALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022**

AUTOR

**OSCAR ARTURO VILCA CCOA - MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO**

RECuento DE PALABRAS

**40613 Words**

RECuento DE CARACTERES

**204188 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**194 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**10.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 29, 2023 7:51 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 29, 2023 7:53 AM GMT-5**

### ● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 8% Base de datos de Internet
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Firmado digitalmente por CASTILLO ARONI Emilio FAU 20145496170 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 29.11.2023 08:03:02 -05:00



Firmado digitalmente por CASTILLO ARONI Emilio FAU 20145496170 hard  
Motivo: Doy V° B°  
Fecha: 29.11.2023 08:03:33 -05:00

Resumen



## DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta aquí y otorgarme salud para lograr mis objetivos, por fortalecer mi corazón y por la satisfacción de lograr tener éxito durante toda esta etapa de estudio.

Con mucho cariño y gratitud a mi padre Santos Blas Vilca Luna mi madre Alejandrina Ccoa Velarde y hermanos; Cristian, Rosmery, Fanny, Vladimir, Ronald, Katerin quienes siempre me respaldaron con su paciencia y comprensión y fueron mi fuerza de voluntad e inspiración diaria por culminar mis estudios superiores de manera que la educación fue su mejor herencia de ellos hacia mi persona.

**Oscar Arturo Vilca Ccoa**



## DEDICATORIA

Con mucho cariño y gratitud a mi madre Beatriz Centeno Quentasi y mi padre Jhordy Mestas Cayo, quienes fueron mi fuerza de voluntad e inspiración diaria por culminar mis estudios superiores. No cabe duda que la educación fue su mejor herencia de ellos hacia mi persona.

A mi abuela que es otra madre para mí y me apoyo mucho a terminar mi carrera.

**Michael Anderson Mestas Centeno**



## AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a Dios, por permitirnos gozar de salud.

A la Universidad Nacional del Altiplano por ser mi alma mater en la formación de mis estudios superiores a los docentes de la Escuela Profesional de INGENIERIA CIVIL, quienes con su experiencia profesional contribuyeron en mi formación profesional.

Asimismo, agradecer al Ingeniero Emilio Castillo Aroni por ser nuestro asesor del proyecto de tesis.

Finalmente agradecer a nuestras madres, padres, hermanos quienes me brindan su apoyo incondicional para seguir con mi formación profesional.

**Michael Anderson Mestas Centeno**

**Oscar Arturo Vilca Ccoa**



# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTO</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>19</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>20</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>21</b>
1.1.1. Problema general.....	26
1.1.2. Problemas específicos .....	26
<b>1.2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>26</b>
1.2.1. Hipótesis general.....	26
1.2.2. Hipótesis específicas. ....	27
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>27</b>
1.3.1. Hipótesis específicas .....	27
1.3.2. Justificación práctica .....	28
1.3.3. Justificación ambiental.....	28
1.3.4. Justificación económica .....	29
<b>1.4. OBJETIVOS.....</b>	<b>29</b>
1.4.1. Objetivo general.....	29
1.4.2. Objetivos específicos.....	30



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	31
2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	31
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	33
2.1.3.	Antecedentes regionales .....	35
<b>2.2.</b>	<b>POLÍMERO SBS</b> .....	37
<b>2.3.</b>	<b>TEREFTALATO DE POLIETILENO</b> .....	38
2.3.1.	Propiedades del PET .....	39
2.3.2.	Ventajas y desventajas del PET .....	40
<b>2.4.</b>	<b>MEZCLA ASFÁLTICA</b> .....	41
2.4.1.	Asfalto .....	41
2.4.2.	Agregados.....	41
2.4.3.	Agregados Gruesos .....	42
2.4.4.	Agregados Finos.....	42
2.4.5.	Aditivos. ....	43
2.4.6.	Modificadores.....	43
2.4.7.	Composición química del asfalto .....	44
2.4.8.	Asfalto con polímeros .....	45
<b>2.5.</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y REOLÓGICAS</b> .....	46
2.5.1.	Propiedades Físicas del Asfalto.....	46
2.5.2.	Propiedades Reológicas del Asfalto.....	48
2.5.3.	Peso específico .....	50
2.5.4.	Estabilidad.....	51
2.5.5.	Porcentaje de vacíos .....	51



2.5.6. Relación estabilidad/ flujo.....	51
<b>2.6. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....</b>	<b>51</b>

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2. MATERIALES.....</b>	<b>54</b>
3.2.1. Etapa preliminar .....	54
3.2.2. Etapa de campo .....	54
3.2.3. Etapa de laboratorio .....	55
3.2.4. Etapa de gabinete .....	69
<b>3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>70</b>
3.3.1. Nivel de Investigación.....	70
3.3.2. Tipo de Investigación.....	70
3.3.3. Método de Investigación .....	70
3.3.4. Población.....	71
3.3.5. Muestra.....	71
3.3.6. Prueba Estadística .....	72
3.3.7. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto .....	72
3.3.8. Metodología Experimental.....	73
3.3.9. Gráficas óptimas de la mezcla asfáltica .....	73
3.3.10. Resultado del contenido óptimo de asfalto .....	76
3.3.11. Resultado del contenido óptimo de asfalto .....	77
3.3.12. Control de calidad de PET + SBS .....	77
3.3.13. Control de calidad físicas y químicas del cemento asfáltico.....	79
3.3.14. Control de calidad de los agregados.....	79



3.3.15. Gravedad Bulk de material compactada.....	81
3.3.16. Gravedad específica teórica máxima (Rice).....	82

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. RESULTADOS DE LAS GRAVEDAD BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS.....</b>	<b>87</b>
<b>4.2. RESULTADOS DE LA GRAVEDAD TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA RICE .....</b>	<b>91</b>
<b>4.3. ESTABILIDAD DE LA MEZCLA .....</b>	<b>96</b>
<b>4.4. FLUJO DE MEZCLA .....</b>	<b>97</b>
<b>4.5. ESTABILIDAD DE LA MEZCLA .....</b>	<b>99</b>
<b>4.6. FLUJO DE LA MEZCLA.....</b>	<b>101</b>
<b>4.7. MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL OPTIMO CON 5.3% DE C.A 105</b>	
<b>4.8. MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON PET .....</b>	<b>106</b>
<b>4.9. MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON PET - SBS .....</b>	<b>110</b>
<b>4.10. SELECCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA CON PET .....</b>	<b>114</b>
<b>4.11. CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO ÓPTIMO CON PET.....</b>	<b>115</b>
<b>4.12. SELECCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA CON PET Y SBS .....</b>	<b>117</b>
<b>4.13. CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO ÓPTIMO CON PET +SBS .....</b>	<b>118</b>
<b>4.14. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>131</b>
<b>4.15. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>133</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>140</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>142</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>143</b>



**ANEXOS..... 147**

**Tema :** Pavimentos Flexibles

**Área :** Transportes.

**Línea de Investigación:** Transportes y gestión vial.

**Fecha de sustentación:** 30 de noviembre del 2023



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Propiedad mecánica físicas de tereftalato de polietileno. ....	39
<b>Tabla 2</b> Propiedades térmicas de tereftalato de polietileno.....	39
<b>Tabla 3</b> Ventajas y desventajas del PET .....	40
<b>Tabla 4</b> Estimaciones para los agregados gruesos. ....	42
<b>Tabla 5</b> Estimaciones para los agregados finos.....	43
<b>Tabla 6</b> Termómetro de ablandamiento en los distintos puntos de temperatura.....	47
<b>Tabla 7</b> Mapa de la región Puno .....	53
<b>Tabla 8</b> Gravedad específica (Ge) y absorción del agregado fino (Arena chancada). .....	58
<b>Tabla 9</b> Gravedad específica (Ge) y absorción del agregado fino (Arena natural)...	58
<b>Tabla 10</b> Gravedad específica y absorción del agregado fino (Arena natural). ....	59
<b>Tabla 11</b> Concentración de “sales solubles” en el agregado grueso. ....	60
<b>Tabla 12</b> Concentración de sales solubles en el agregado fino (Arena chancada).....	60
<b>Tabla 13</b> Concentración de sales solubles en el agregado fino (Arena natural). ....	61
<b>Tabla 14</b> Límites de consistencia del material. ....	61
<b>Tabla 15</b> Resultados del primer ensayo con una o más caras fracturadas. ....	63
<b>Tabla 16</b> Resultados del primer ensayo con dos o más caras fracturadas.....	63
<b>Tabla 17</b> Resultados del segundo ensayo con 1 o más caras fracturadas. ....	64
<b>Tabla 18</b> Resultados del segundo ensayo con 1 o más caras fracturadas. ....	64
<b>Tabla 19</b> Unidad de muestras destinadas para la prueba en laboratorio .....	72
<b>Tabla 20</b> Diseño de concreto asfáltico convencional.....	77
<b>Tabla 21</b> Control de calidad de PET + SBS.....	78
<b>Tabla 22</b> Propiedades físicas y químicas. ....	79



<b>Tabla 23</b>	Control de calidad de los agregados gruesos. ....	80
<b>Tabla 24</b>	Control de calidad de los agregados fino. ....	80
<b>Tabla 25</b>	Gravedad específica Bulk .....	81
<b>Tabla 26</b>	Gravedad específica teórica máxima (Rice) .....	82
<b>Tabla 27</b>	Análisis granulométrico .....	83
<b>Tabla 28</b>	Gravedad específica de agregado grueso .....	84
<b>Tabla 29</b>	Gravedad específica del agregado fino (arena chancada) .....	85
<b>Tabla 30</b>	Gravedad específica del agregado fino (arena natural).....	85
<b>Tabla 31</b>	Caras fracturas de agregados.....	86
<b>Tabla 32</b>	Sales solubles de los agregados .....	86
<b>Tabla 33</b>	Gravedad específica Bulk de las mezclas asfálticas con PET .....	87
<b>Tabla 34</b>	Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con PET - SBS.....	89
<b>Tabla 35</b>	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE con PET .....	91
<b>Tabla 36</b>	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE con PET + SBS ..	92
<b>Tabla 37</b>	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE .....	94
<b>Tabla 38</b>	Estabilidad de la mezcla con asfalto. ....	96
<b>Tabla 39</b>	Flujo de la mezcla con asfalto.....	97
<b>Tabla 40</b>	Estabilidad de la mezcla con PET .....	99
<b>Tabla 41</b>	Flujo de la mezcla con PET .....	101
<b>Tabla 42</b>	Estabilidad de la mezcla con PET + SBS .....	102
<b>Tabla 43</b>	Flujo de la mezcla con PET + SBS .....	103
<b>Tabla 44</b>	Vacíos de aire de la mezcla asfáltica convencional. ....	105
<b>Tabla 45</b>	Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica convencional .....	105
<b>Tabla 46</b>	Vacíos de aire de la mezcla asfáltica con PET.....	106
<b>Tabla 47</b>	Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica con PET .....	107



<b>Tabla 48</b>	Vacíos de aire de la mezcla asfáltica con PET + SBS .....	110
<b>Tabla 49</b>	Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica con PET +SBS .....	112
<b>Tabla 50</b>	Diseño de mezcla con PET .....	114
<b>Tabla 51</b>	Diseño de mezcla óptimo con PET .....	115
<b>Tabla 52</b>	Diseño de mezcla con PET + SBS.....	117
<b>Tabla 53</b>	Diseño de mezcla óptimo con PET + SBS.....	118
<b>Tabla 54</b>	Cuadro comparativo mezcla asfáltica convencional y modificada .....	119
<b>Tabla 55</b>	Comparación de mezcla asfáltica convencional y modificada .....	120
<b>Tabla 56</b>	Comparación de porcentajes de vacíos de mezcla asfáltica convencional y modificada.....	122
<b>Tabla 57</b>	Comparación de estabilidad y flujo de mezcla asfáltica convencional y modificada.....	123
<b>Tabla 58</b>	Resumen de porcentajes óptimos.....	125
<b>Tabla 59</b>	Porcentajes óptimos de gravedad específica y vacíos de aire .....	125
<b>Tabla 60</b>	Porcentajes óptimos de vacíos de agregado y vacíos llenados con asfalto	127
<b>Tabla 61</b>	Porcentajes óptimos de estabilidad y flujo.....	128
<b>Tabla 62</b>	Prueba de normalidad.....	131
<b>Tabla 63</b>	Correlación no paramétrica.....	133



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Emisiones mundiales de CO <sub>2</sub> relacionadas con la energía, 1990-2021, y cambio en las emisiones de CO <sub>2</sub> por combustible, 1990-2021 .....	22
<b>Figura 2</b> Producción de plástico en el Perú del 2013-2019 .....	24
<b>Figura 3</b> Compuesto químico del estireno-butadieno-estireno (SBS).....	37
<b>Figura 4</b> Compuesto químico del Tereftalato de polietileno .....	38
<b>Figura 5</b> Clasificación de aditivos y modificadores del asfalto.....	44
<b>Figura 6</b> Fichas para la recolectar datos .....	54
<b>Figura 7</b> Obtención de material PET .....	55
<b>Figura 8</b> Ensayo de granulometría.....	56
<b>Figura 9</b> Ensayo de gravedad específica .....	59
<b>Figura 10</b> Ensayo de caras fracturas .....	65
<b>Figura 11</b> Elaboración de especímenes de asfalto.....	65
<b>Figura 12</b> Ensayo de gravedad específica .....	67
<b>Figura 13</b> Ensayo Rice .....	68
<b>Figura 14</b> Ensayo de estabilidad de Marshall.....	69
<b>Figura 15</b> Ensayo de flujo Marshall .....	69
<b>Figura 16</b> Gráfico de porcentajes de asfalto vs VMA. ....	74
<b>Figura 17</b> Gráfico de porcentaje de asfalto vs VFA. ....	74
<b>Figura 18</b> Gráfico de asfalto vs estabilidad. ....	75
<b>Figura 19</b> Gráfico de asfalto & Va. ....	75
<b>Figura 20</b> Gráfico de asfalto & flujo. ....	76
<b>Figura 21</b> Gráfico de asfalto & Gmb.....	76
<b>Figura 22</b> Análisis granulométrico de los agregados .....	83



<b>Figura 23</b>	Ensayo de índice de plasticidad .....	84
<b>Figura 24</b>	Gravedad específica Bulk de las mezclas asfálticas con PET .....	88
<b>Figura 25</b>	Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con PET - SBS.....	90
<b>Figura 26</b>	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE con PET .....	92
<b>Figura 27</b>	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE con PET + SBS ..	93
<b>Figura 28</b>	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE. ....	95
<b>Figura 29</b>	Estabilidad de la mezcla con asfalto. ....	97
<b>Figura 30</b>	Flujo de la mezcla con asfalto.....	98
<b>Figura 31</b>	Estabilidad de la mezcla con PET .....	100
<b>Figura 32</b>	Flujo de la mezcla con PET .....	101
<b>Figura 33</b>	Estabilidad de la mezcla con PET + SBS .....	103
<b>Figura 34</b>	Flujo de la mezcla con PET + SBS.....	104
<b>Figura 35</b>	Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica con PET.....	106
<b>Figura 36</b>	Densidad de la mezcla asfáltica con PET .....	107
<b>Figura 37</b>	Porcentaje de vacíos de agregado mineral .....	108
<b>Figura 38</b>	Porcentaje de vacíos llenados con asfalto .....	108
<b>Figura 39</b>	Flujo de la mezcla asfáltica con PET .....	109
<b>Figura 40</b>	Estabilidad de la mezcla asfáltica con PET .....	109
<b>Figura 41</b>	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada.....	111
<b>Figura 42</b>	Porcentaje de Vacíos de Aire de la mezcla asfáltica.....	111
<b>Figura 43</b>	Porcentaje de vacíos de agregado mineral .....	112
<b>Figura 44</b>	Porcentaje de vacíos llenados con asfalto .....	113
<b>Figura 45</b>	Flujo de la mezcla asfáltica con PET +SBS.....	113
<b>Figura 46</b>	Estabilidad de la mezcla asfáltica con PET +SBS .....	113



<b>Figura 47</b> Gravedad específica de la mezcla asfáltica convencional y modificada %PET y PET+SBS .....	121
<b>Figura 48</b> Vacíos de aire de la mezcla asfáltica convencional y modificada %PET y PET+SBS .....	121
<b>Figura 49</b> Porcentaje de vacíos de agregado mineral .....	122
<b>Figura 50</b> Porcentaje de vacíos llenados con asfalto .....	123
<b>Figura 51</b> Flujo de la mezcla asfáltica con PER y PET + SBS .....	124
<b>Figura 52</b> Estabilidad de la mezcla asfáltica con PER y PET + SBS.....	124
<b>Figura 53</b> Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada.....	126
<b>Figura 54</b> Porcentaje de vacíos de aire .....	126
<b>Figura 55</b> Porcentaje de vacíos de agregado mineral .....	127
<b>Figura 56</b> Porcentaje de vacíos llenados con asfalto .....	128
<b>Figura 57</b> Óptimos valores de flujo de la mezcla asfáltica.....	129
<b>Figura 58</b> Óptimos valores de estabilidad de la mezcla asfáltica.....	130



## ACRÓNIMOS

### UNIDAD DE MEDIDA

Mm:	Milímetros
Kg:	Kilogramos
(%):	Porcentaje
Km:	Kilómetros
Cm <sup>3</sup> :	Centímetros cúbicos
KM:	Kilómetros
KN:	Kilo newton
K:	Kilo

### ABREVIATURAS GEOMECÁNICAS

CBR:	California Bering Ratio
Cu:	Coefficiente de Uniformidad
Cc:	Coefficiente de Curvatura
LL:	Límite líquido
LP:	Límite plástico
LC:	Límite de contracción
IP:	Índice de plasticidad
IC:	Índice de contracción
PET:	Tereftalato de polietileno
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
VMA:	Vacíos del agregado mineral
EG:	Especificaciones Técnicas Generales para Construcción
SBS:	Estireno butadieno estireno



VFA:	Vacíos rellenos de asfalto
Va:	Vacío
ANOVA:	Análisis de varianza
Ha:	Hipótesis alterna
Ho:	Hipótesis nula



## RESUMEN

La investigación se centra en resolver la problemática existente en la región de Puno la cual está relacionada con los botaderos a cielo abierto, los cuales tienen un impacto negativo en el medio ambiente, especialmente cuando se mezclan con desechos orgánicos e inorgánicos. Donde se planteó el objetivo de comparar las propiedades de mezcla asfáltica en caliente convencional y modificado con polímeros y tereftalato de polietileno usando agregados de la cantera Cabanilla, Puno 2022. Se realizaron ensayos de porcentajes de vacíos de aire, estabilidad y flujo, tres muestras para la muestra patrón y las adiciones de polímeros. La metodología tiene nivel correlacional, diseño experimental, tipo aplicativo y enfoque cuantitativo. Como resultados se obtuvo, los porcentajes de vacíos para la mezcla convencional es 3.56%, adicionando PET en 2.00%, 4.00% y 8.00%, se obtiene 3.77%, 4.16% y 5.27% y adicionando PET+SBS se obtiene 3.75%, 4.12% y 5.15%. El flujo de la mezcla tradicional es 1287.30 kg y 12.93mm respectivamente, adicionando PET en 2.00%, 4.00% y 8.00% se obtuvo el flujo es 12.67mm, 13.27mm y 16.33mm y una estabilidad de 1235.21 kg, 1308,64 kg y 1326,09 kg y con PET+SBS con 2.00%, 4.00% y con 8.00% el flujo es 12.53mm, 13.20mm y 16.00mm, la estabilidad es de 1289.53 kg, 1314.49 kg y 1330.20 kg. Se concluye que adicionando un porcentaje de 4.5% de PET y PET+SBS se obtienen datos que se encuentran dentro de las exigencias de las normativas.

**Palabras Clave:** Estabilidad, Flujo Marshall, PET, SBS



## ABSTRACT

The research focuses on solving the existing problem in the Puno region which is related to open dumps, which have a negative impact on the environment, especially when mixed with organic and inorganic waste. Where the objective was set to compare the properties of conventional hot mix asphalt and modified with polymers and polyethylene terephthalate using aggregates from the Cabanilla quarry, Puno 2022. Tests were carried out on percentages of air voids, stability and flow, three samples to the standard sample and the polymer additions. The methodology has a correlational level, experimental design, application type and quantitative approach. As results were obtained, the percentage of voids for the conventional mixture is 3.56%, adding PET in 2.00%, 4.00% and 8.00%, 3.77%, 4.16% and 5.27% are obtained and adding PET+SBS results in 3.75%, 4.12 % and 5.15%. The flow of the traditional mixture is 1287.30 kg and 12.93mm respectively, adding PET in 2.00%, 4.00% and 8.00%, the flow is 12.67mm, 13.27mm and 16.33mm and a stability of 1235.21 kg, 1308.64 kg and 1326.09 kg and with PET+SBS with 2.00%, 4.00% and 8.00% the flow is 12.53mm, 13.20mm and 16.00mm, the stability is 1289.53 kg, 1314.49 kg and 1330.20 kg. It is concluded that by adding a percentage of 4.5% of PET and PET+SBS, data is obtained that is within the requirements of the regulations.

**Keywords:** Stability, Marshall flow, PET, SBS



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

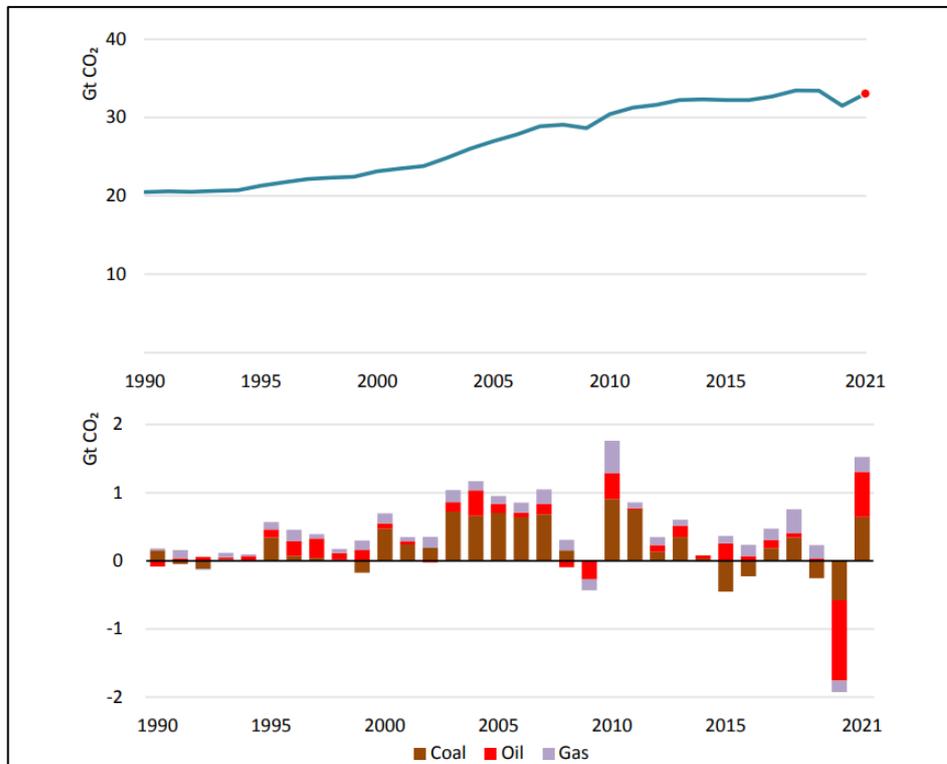
### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### **Problemática Internacional**

La acumulación creciente de desechos de PET y polímeros SBS plantea varios problemas en el ámbito de la construcción y el mantenimiento de carreteras. Uno de los principales desafíos está relacionado con las emisiones de CO<sub>2</sub>. Según informes de la Agencia Internacional de Energía (AIE) (2021), se estima que alrededor del 70% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del transporte están vinculadas a la infraestructura vial. Las mezclas asfálticas convencionales utilizadas en la construcción de carreteras requieren una gran cantidad de energía en su producción, lo que contribuye significativamente a la huella de carbono del sector. Es esencial encontrar alternativas más sostenibles que reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub> y minimicen el impacto ambiental.

## Figura 1

*Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía, 1990-2021, y cambio en las emisiones de CO<sub>2</sub> por combustible, 1990-2021*



**Nota:** (Agencia Internacional de Energía, 2021)

Según datos del Instituto de Estudios Económicos y Sociales (IEES) (2019), se ha registrado un incremento en la producción de plásticos a nivel mundial. En el año 2017, la producción global alcanzó los 348 millones de toneladas, lo que representa un aumento del 3.8% en comparación con el año anterior.

La venta de plásticos a nivel mundial muestra un desglose en el que las formas primarias de plásticos representan la mayor parte del volumen comercializado (56%), seguidas de formas intermedias (11%), bienes manufacturados intermedios (5%), productos manufacturados finales (21%) y residuos (2%). Específicamente, en el caso de los textiles sintéticos y los neumáticos de caucho, representan hasta el 60% del volumen total de producción mundial que se comercializa internacionalmente; el comercio de formas primarias de plásticos alcanzó un valor de \$348 mil millones de dólares en 2018,



correspondiendo a aproximadamente el 45% de la producción mundial de plásticos primarios, con un volumen de 196 millones de toneladas métricas. Este flujo constante de productos plásticos a través de las fronteras internacionales ha contribuido al crecimiento de la acumulación de residuos plásticos que muchos gobiernos enfrentan actualmente. Mientras que para algunas naciones, el comercio de plásticos ha sido parte de una estrategia de diversificación económica, como en el caso de los envases de plástico que agregan valor a las exportaciones agrícolas de países en desarrollo, para otros países, especialmente los pequeños estados insulares en desarrollo, se enfrentan a los impactos de la contaminación plástica sin ser grandes productores, consumidores o comerciantes de plásticos (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio , 2021).

### **Problemática Nacional**

En el contexto nacional de Perú, se observa un aumento significativo de las construcciones de infraestructura vial en diferentes zonas del Perú, esta situación genera la escasez de recursos naturales, es decir la explotación de bancos naturales para adquirir materiales que conforman la infraestructura vial. Por efecto se ha visualizado una creciente utilización del material, como los agregados pétreos y el cemento asfáltico en las áreas de ejecución de conservación y mantenimiento, en referencia al pavimento flexible. Este enfoque no solo tiene un impacto ambiental negativo, sino que también contribuye a la desgaste y explotación de ríos y canteras. (Chuman Aguirre, 2017).

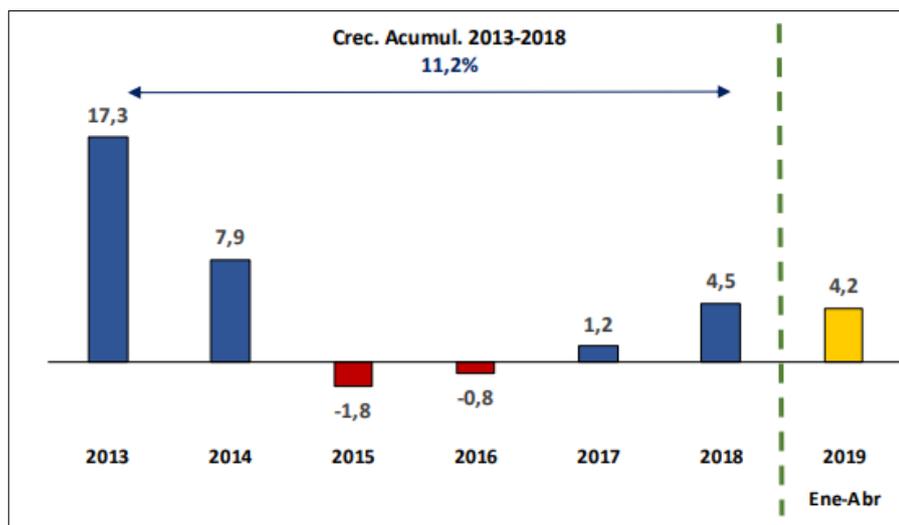
Los pavimentos flexibles en la actualidad presentan un deterioro que afecta su vida útil esperada. El material asfáltico utilizado en su construcción muestra deficiencias en sus propiedades, lo cual resulta en la necesidad de realizar constantes labores de mantenimiento. De acuerdo a (Iguaran, Guerrero, & Marulanda, 2021), la conservación y mantenimiento de las vías genera costos adicionales tanto a corto como a largo plazo,

lo que conlleva una acumulación de gastos y una reducción en la durabilidad de las vías. Además, esta situación provoca insatisfacción entre los usuarios de las vías debido a su mal estado, lo cual afecta la calidad del tránsito.

La producción de plásticos en el Perú experimentó un crecimiento del 1.2% en 2017, luego aumentó al 4.5% en 2018 y finalmente se redujo al 4.2% en 2019. Por otra parte, la producción del plástico y caucho comprende la fabricación de polímeros poliamidas y resina, indica que en el año 2017 se produjo 9.3%, en 2018 redujo en 1.2% y en inicios del cuatrimestre del año 2019 redujo en 2.6%.

## Figura 2

*Producción de plástico en el Perú del 2013-2019*



Nota: IEES-SIN (2019)

## Problemática Local

La región de Puno enfrenta una problemática significativa en cuanto al estado de sus carreteras. Según datos del Gobierno Regional de Puno (2008), aproximadamente el 60% de las vías presentan un deterioro que va desde moderado hasta severo. Este deterioro acelerado se debe en gran parte al mal estado climatológico de la región y al intenso tráfico al que están expuestas las carreteras. Y la construcción de carreteras con



mezclas asfálticas convencionales ha demostrado ser insuficiente en cuanto a su resistencia a largo plazo. A medida que pasa el tiempo, estas carreteras se deterioran y requieren un mantenimiento frecuente e incluso su reemplazo completo. Este proceso no solo implica altos costos económicos, sino que tiene también consecuencias negativas para el medio ambiente a causa del consumo adicional de recursos y a la generación de emisiones asociadas a la construcción y el mantenimiento de nuevas carreteras. Esta situación plantea un desafío importante, ya que es necesario mejorar la duración de las carreteras y reducir el gasto en referencia a la conservación y mantenimiento constante, tanto en términos económicos como ambientales. Por lo tanto, es crucial buscar soluciones que prolonguen la vida útil de las carreteras y reduzcan la necesidad de intervenciones constantes, buscando un equilibrio entre la sostenibilidad y la eficiencia en el ámbito vial de la ciudad de Puno.

En la ciudad de Puno y en los barrios de bajos recursos o economía de transición, se presenta una problemática recurrente relacionada con los botaderos de basura a cielo abierto. Estos lugares de acumulación de residuos sólidos y plásticos repercuten negativamente en el medio ambiente, especialmente cuando se mezclan con desechos orgánicos e inorgánicos. De acuerdo con el área de segregación de residuos sólidos, aproximadamente el 50% de la basura generada en promedio corresponde a desechos orgánicos, mientras que el 20% se compone de materiales inorgánicos que podrían ser reciclados o aprovechados de alguna manera. Si se lleva a cabo una gestión apropiada de los residuos, se podría reducir en un 70% la cantidad de basura que llega a las celdas de Huanuyo, contribuyendo así a mitigar los impactos negativos de los botaderos y promoviendo una mejor calidad ambiental en la ciudad de Puno.



### **1.1.1. Problema general**

¿Cuál es el análisis comparativo del asfalto convencional y asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno (PET), región de Puno – 2022?

### **1.1.2. Problemas específicos**

¿Cuáles son las propiedades reológicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno (PET)?

¿Cuáles son las propiedades físicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno (PET)?

¿Cuáles son las propiedades mecánicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno (PET)?

¿Cuál es la dosificación óptima que debe incorporarse de polímeros y tereftalato de polietileno (PET) para lograr las propiedades ideales del asfalto en caliente?

## **1.2. HIPÓTESIS**

### **1.2.1. Hipótesis general**

Las propiedades del asfalto modificado con polímeros y tereftalato de polietileno son mejores que las propiedades del asfalto convencional, Puno 2022.



### **1.2.2. Hipótesis específicas.**

El asfalto modificado con tereftalato de polietileno usando materiales de la cantera Cabanilla tiene mejores propiedades reológicas que el asfalto convencional.

El asfalto modificado con tereftalato de polietileno usando materiales de la cantera Cabanilla tiene mejores propiedades físicas que el asfalto convencional.

El asfalto modificado con tereftalato de polietileno usando materiales de la cantera Cabanilla tiene mejores propiedades mecánicas que el asfalto convencional.

La dosificación óptima que debe incorporarse de polímeros y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla para lograr las propiedades ideales, se encuentra en el rango de 1% Polímeros + 1%PET a 4% Polímeros + 4%PET.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Hipótesis específicas**

En el sector de la construcción de obras viales con asfalto en caliente utilizando polímeros SBS y tereftalato de polietileno PET ha sido estudiado ampliamente como los autores (Ma & Hesp, 2022) y (Fariña, Kutay, & Anctil, 2023), sin embargo, las investigaciones que han analizado una combinación entre polímeros SBS a base de llantas recicladas y tereftalato de polietileno PET como reemplazo del material grueso y fino son escasos, cabe mencionar que en muchas investigaciones se tuvo un resultados favorable al ser incorporadas por separado, en tal sentido siguiendo el vacío teórico propuesto por los autores (Esfandabad,



Motevalizadeh, Sedghi, Ayar, & Asgharzadeh, 2020), que menciona una reducción de resistencia de las mezclas asfálticas contra la carga de tensión indirecta debido a la presencia de gránulos de PET, se busca mejorar la capacidad de un asfalto convencional en caliente incorporando una combinación de PET y polímero SBS en dosificaciones convenientes que sean capaces de mejorar sus propiedades.

### **1.3.2. Justificación práctica**

La siguiente investigación está en la búsqueda de establecer un mejor tratamiento en la composición del asfalto caliente, absolver los problemas de deterioro prematuro que se presentan en las vías, las cuales son visibles en la superficie de la estructura utilizando una mejor calidad de asfalto el cual indica un asfalto diseñado mucho mejor que el convencional, que sea resistente a los climas cambiantes de la región de Puno.

### **1.3.3. Justificación ambiental**

Son elastómeros muy versátiles y ampliamente utilizados en la industria a nivel mundial y es muy poco usado a nivel nacional, en donde se adquiere en base a la polimerización de la combinación de estireno y como también de butadieno. Este tipo de polímeros que tienen la habilidad de mejorar las propiedades de MAC en gran medida, se encuentran en cubiertas de neumáticos, que normalmente son desechados una vez que éstas ya no presentan ningún uso, al igual que los plásticos, las cuales se generan en masa y de muchos tipos como recipientes de muchos productos industriales, las cuales son comerciados todos los días generando grandes cantidades de residuos que son desechados en botaderos donde su descomposición puede llegar a tardar alrededor de 150 años. En este contexto,



el uso de polímeros en porcentajes en combinación con la mezcla asfáltica a variar con polímeros SBS reciclados y tereftalato de polietileno puede ayudar a reducir el impacto ambiental al aumentar su durabilidad en las carreteras y disminuir la necesidad de mantenimiento y reemplazo frecuentes, indicando el manejo adecuado de recursos no renovables y como también renovables.

#### **1.3.4. Justificación económica**

Tanto los polímeros SBS adquiridos de la trituración de neumáticos desechados y el tereftalato de polietileno adquiridos de los residuos de productos industriales, son gratuitos, ya que conforman parte de los botaderos de cada ciudad esperando que en un cierto tiempo éstas puedan ser degradados para la naturaleza, por lo que dicho estudio se enfoca en conservar los materiales, para darle un uso en infraestructuras de obras civiles con el fin de minimizar el uso de recursos naturales y por ende optimizar económicamente en referencia a las construcciones y restablecimiento o reconstrucción, al utilizar el tereftalato de polietileno en combinación con el asfalto, para su mejoramiento y ampliar su vida útil en el pavimento, y por ello ser útil o reemplazo en carpetas asfálticas de carreteras y generando así una economía circular.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Comparar las propiedades de mezcla asfáltica en caliente convencional y modificado con polímeros y tereftalato de polietileno usando agregados de la cantera Cabanilla, Puno 2022.



#### **1.4.2. Objetivos específicos**

Determinar las propiedades reológicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla.

Determinar las propiedades físicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla.

Determinar las propiedades mecánicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla.

Determinar la dosificación óptima que debe incorporarse de polímero y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla para lograr las propiedades ideales.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Staver *et al.* (2021) en su artículo tiene por objetivo determinar el orden óptimo de las adiciones y crear modelos estadísticos del asfalto modificado para los parámetros reológicos importantes. El uso de múltiples aditivos en el asfalto conduce a un análisis mucho más complicado de la reología. En esta investigación, se utilizó una técnica de dosificación maestra en la que se creó una alta concentración de polímero SBS antes de diluir y mezclar otros aditivos, incluido un polímero derivado de la soja y un rejuvenecedor. El orden de las adiciones se investigó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, y el impacto de los niveles de dosificación se investigó mediante un diseño factorial de 2k. El modelo muestra que el polímero SBS tiene el mayor impacto en todas las propiedades reológicas, mientras que los aditivos derivados de la soja mejoran el rendimiento a baja temperatura.

Según Ferreira *et al.* (2022) en su estudio tiene por objetivo evaluar el potencial del micro-PET reciclado en sustitución de la arena natural en el comportamiento mecánico por peso y volumen en referencia a MAC. La metodología que se utiliza es netamente de diseño experimental, el diseño de la mezcla Super-pave, la microtomografía de rayos X, como también resistencia a tracción, el módulo resiliente y las pruebas por humedad se realizaron en mezclas convencionales y con PET incorporado, considerando 2%, 4% y 8% (en peso y



volumen) de sustituciones. El 8% de PET que reemplazó a la arena por volumen no mostró cambios significativos en el óptimo contenido de asfalto de la mezcla debido a la equivalencia de absorción de ligante entre las superficies de los materiales. Para el mismo contenido de aglutinante, el aumento del contenido de PET en peso disminuyó el espesor de la película de aglutinante y aumentó el volumen de los huecos, visualizados como microporos no permeables. Si bien la adición e incremento de PET redujo los valores obtenidos a la resistencia a tracción y de las mezclas su módulo resiliente, su aporte más significativo fue mejorar el daño por humedad en referencia a su resistencia, especialmente para regiones donde el proceso de deterioro del pavimento está asociado a un régimen de lluvias intensas, demostrando así la factibilidad práctica de esta aplicación en concreto. pavimentación de asfalto.

Según Spadoni et al. (2022), en su trabajo tiene como objetivo evaluar, mediante la aplicación de la teoría del daño viscoelástico continuo, el funcionamiento de dos mezclas asfálticas con respecto a su fatiga, han sido modificadas por el método seco. Uno de los compuestos estudiados está compuesto por polímero plastomérico y el otro está compuesto por residuos plásticos con la adición de grafeno. Se usó una mezcla de referencia que contenía betún modificado con polímeros (que representa el método de modificación húmeda) para comparar. El programa experimental involucró pruebas de módulo dinámico y pruebas de fatiga cíclica uniaxial de especímenes compactados en laboratorio y núcleos extraídos de secciones de prueba de campo a gran escala. Los resultados de las pruebas de las muestras compactadas en laboratorio y los núcleos de campo se ingresaron en el software Flex-PAVE para simulaciones de desempeño de pavimentos. Bajo las mismas condiciones volumétricas, las tres



mezclas graduadas densas tienen valores comparables de rigidez y resistencia a la fatiga a nivel de material. Sin embargo, en las simulaciones a nivel del pavimento, la mezcla de referencia exhibió mucho menos daño después de 30 años de servicio que las mezclas compuestas. Con respecto a la pista de prueba de campo, el contenido de vacíos de aire de las mezclas varió debido a problemas de trabajabilidad relacionados con la presencia de los compuestos. Se obtuvo un desempeño óptimo para las capas asfálticas que podían caracterizarse por un nivel de rigidez intermedio que asegura una distribución de carga adecuada sin consecuencias negativas para la resistencia en referencia a la fatiga y finalmente la resistencia térmica de la mezcla.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Según Gargate y Huamaní (2018) plantearon como objetivo establecer el análisis comparativo de mezclas de asfalto con polímeros y tradicionales para optimizar las características mecánicas en el pavimento flexible - Lima, a través de HIS Asesores y Consultores S.A.C. Se considero para la investigación - experimental, fue de tipo de investigación aplicada y el nivel de estudio descriptiva, con una población de 56 briquetas y finalmente con una muestra de 28 briquetas de asfalto (tradicional y convencional). Obteniendo resultados de la mezcla asfáltica en caliente de la dicha investigación de tesis que contiene 40% de grava, 35% de gravilla, 25% de arena natural, con un contenido óptimo de asfalto de 5.5% (mezcla asfáltica convencional) y de 5.1% (mezcla asfáltica modificada con SBS. Finalmente, en conclusión, se verifica las cantidades de 4.40%, 4.90%, 5.40% y 5.90% para asfalto convencional, así como también para asfalto modificado con SBS pudieron llegar al porcentaje óptimo de ligante



asfáltico, de esta manera se emplean las fórmulas pertinentes para cada tendencia utilizando como punto de partida el diagrama de % de vacíos de aire.

Según Gamboa (2021), su dicha investigación tiene como objetivo general elaborar una evaluación comparativa de la mezcla asfáltica con polímeros ABS y tradicional, la investigación se realizó en la ciudad de Trujillo. Para el estudio fue el tipo aplicada, diseño experimental puro, la población está constituida 144 briquetas de asfalto (modificado y tradicional). El proceso para el dicho ensayo de los materiales, en la cual los resultados son conformes y el PEN 60/70. Los resultados muestran que, bajo condiciones de tráfico, la mezcla modificada presenta un mejor comportamiento. Tanto la estabilidad como el flujo son óptimos, y su vida útil es mayor debido a las propiedades impermeables del polímero, evitando la filtración de agua, el porcentaje de vacíos de la mezcla modificada con un 0.856% de ABS es del 4%, al estar en el intervalo del 3% al 5% implica que la compactación es ideal en comparación con la mezcla convencional, en resumen, bajo las condiciones de tráfico, la mezcla modificada exhibe un mejor comportamiento debido a su óptima estabilidad y flujo. Además, su durabilidad es superior gracias a las propiedades impermeables del polímero, evitando así la filtración de agua, el porcentaje de vacíos en la mezcla modificada con un 0.856% de ABS es del 4%, situándose dentro del rango ideal del 3% al 5%. Esto sugiere que su compactación es óptima en comparación con la mezcla tradicional.

Quispe (2022) En su investigación se propuso como objetivo fundamental la identificación del porcentaje ideal de asfalto modificado con polímero SBS con el propósito de mejorar las características de resistencia a la fatiga y al ahuellamiento de una mezcla asfáltica en caliente. Esto se llevó a cabo a través de



la realización de ensayos Superpave. La metodología de la investigación tiene un método deductivo, de tipo correlacional, descriptiva y explicativa y diseño experimental, donde realizaron una gran cantidad de briquetas en referencia al asfalto con adiciones de polímeros SBS en porcentajes de 2.5%, 3.5% Y 4.5% para su mejoramiento en referencia al asfalto, para ello se empleó el ensayo de Marshall usando la normativa del MTC E504. Como resultados se obtuvo una estabilidad de 999.8 kg, 13.8” de flujo y 75.3% de porcentaje de vacíos con adición de 2.5% de SBS, una estabilidad de 1007.3 kg, un flujo de 13.4” y un porcentaje de vacíos de 81.7% adicionando 3.5% y una estabilidad de 992 kg, un flujo de 13.2” y un porcentaje de vacíos de 74.7% adicionando 4.5%. Con los datos obtenidos en el resultado se concluye que el uso de 3.5% de polímero SBS cumple con los requisitos mejorando las propiedades de la mezcla asfáltica.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Según Luque (2019) se planteó como objetivo primordial analizar la influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico, la investigación se realizó en la región de Puno. Para el estudio fue el tipo aplicada, diseño experimental puro, la población fueron realizados con agregados de planta INDUNAQ con PEN de 120 a 150, aplicando el método de Marshall y la muestra está constituida con 45 probetas en referencia a concreto asfáltico. Obteniendo resultados en el análisis estadístico y su correlación correspondiente al porcentaje de PET adicionado, en relación a la masa del asfalto, y el flujo Marshall, que fue de 0.372 para el coeficiente de Pearson y de 0.412 para la significancia; concluyendo que la inclusión de tereftalato de polietileno no resulta en un aumento en el valor del flujo Marshall del concreto asfáltico modificado.



Según Zambrano (2018) se planteó como objetivo primordial evaluar el comportamiento, parámetros reológicos y propiedades físico mecánicas de la carpeta asfáltica con la incorporación de Polímeros Modificados en las mezclas asfálticas en la vía Macusani – Ollachea, el estudio se realizó en el distrito de Juliaca. La metodología tiene un enfoque cuantitativo, nivel explicativo, tipo aplicada y método cuasi experimental, donde se evaluó el índice de condición del pavimento del tramo de vía desde Macusani a Ollachea un total de 96 km, así mismo se realizó la caracterización de materiales y el polímero SBS, donde se elaboraron especímenes de asfalto los que luego fueron sometidos a diferentes pruebas. Como resultados de las pruebas realizadas adicionando 0%, 2%, 2.5%, 3.5 y 4% de polímeros SBS se tiene 110 mm, 84 mm, 78 mm, 72 mm y 40 mm para la penetración, 42°C, 51°C, 54°C, 55°C y 62°C para el punto de ablandamiento, 0.6%, 61%, 62%, 70% y 84% para la recuperación elástica y 0%, 48%, 64%, 71% y 75% para la recuperación elástica por torsión, así mismo adicionando 3% de SBS se obtuvo 4% de volumen de vacíos, 893 kg y 1060 kg de estabilidad y 3.81mm y 3.65 mm de flujo convencional de mezcla y modificado con SBS. Con los datos obtenidos se concluye que los polímeros SBS influyen en las mezclas asfálticas.

Según Charcape (2022) se planteó como objetivo primordial, evaluar el efecto de los polímeros reciclados en la estabilidad y flujo Marshall en pavimento asfáltico en el Anexo Cruce Cascas, dicha investigación se realizó en la ciudad de La Libertad. La metodología es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño cuasi experimental, donde se realizaron el análisis y caracterización de los materiales, realizaron un total de 80 briquetas y del polímero reciclado. Como resultados adicionando 0%, 1%, 3% y 6% de polímeros

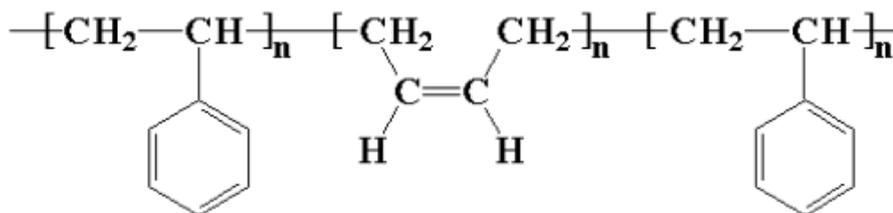
se obtuvo 3.6%, 5.9%, 11.1% y 14.56% de vacíos, 12.05 mm, 13.31 mm, 13.90 mm y 16.66 mm de flujo, 1002 kg, 1379 kg, 1602 kg y 1113 kg de estabilidad. Con los resultados obtenidos se concluye que el flujo se encuentra dentro del rango establecido excepto con la adición de 6%, y los datos de la estabilidad son mayores a lo solicitado en la EG-2013

## 2.2. POLÍMERO SBS

Es un elastómero termoplástico adquirido por medio de la polimerización de una mezcla de estireno, butadieno (SBS). En mención es un copolímero de bloque, tiene la relación que está conformada por bloque en referencia a poliestireno, y por ende está conformada de bloque de polibutadieno y finalmente formada también de bloque de poliestireno (Griñán, 2021).

### Figura 3

*Compuesto químico del estireno-butadieno-estireno (SBS)*



Nota: (QuimiNet, 2010)

Polímero duro y resistente se le considera como poliestireno, conceder al SBS su durabilidad, el polibutadieno es un material semejante al caucho, adiciona el aporte al SBS y mejora sus características elásticas, en términos generales el SBS es un elastómero, tiene una estructuración química del tipo de plástico, de esta manera, no procede a reciclarse. Claramente se visualiza en la figura superior que su estructuración de SBS está

formada de doble enlace químico, más conocido bloque del polibutadieno. (Griñán, 2021).

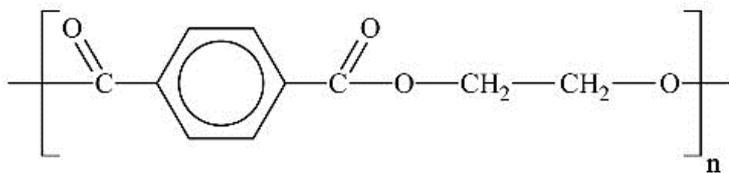
### 2.3. TEREFTALATO DE POLIETILENO

Es un polímero termoplástico, lo que significa que se puede fundir y moldear fácilmente a distintas formas. Se utiliza comúnmente en procesos de extrusión, inyección y soplado de moldeo. El material forma parte del grupo de sintéticos conocidos como poliésteres; la velocidad es baja de cristalización y mayormente se halla en estado amorfo transparente o cristalino, se conoce su pureza y es muy elevada, la resistencia es alta, tenacidad y porque es 100 % reciclable con posibilidad de producir envases reutilizables, sustituyendo a otros materiales (QuimiNet, 2010).

*Cuya estructura molecular está constituida por la fórmula  $C_{10}H_8O_4$ , es:*

#### Figura 4

*Compuesto químico del Tereftalato de polietileno*



Nota: (QuimiNet, 2010)

Seguidamente, se conoce del PET es un plástico y de alta calidad que se conoce con el número uno, rodeado en las márgenes de tres flechas en el fondo de los envases realizado con este material, según sistema SPI (Sociedad de Industrias del plástico) (QuimiNet, 2010), claramente se hace mención en la tabla N°1 y la tabla N°2.

**Tabla 1***Propiedad mecánica físicas de tereftalato de polietileno.*

<b>Propiedades Tereftalato de polietileno</b>	<b>Unidad</b>	<b>Normas internacionales</b>	<b>Normas Din</b>	<b>Valores</b>
Peso específico	Gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D- 792	53479	1.39
Res. a la tracción de fluencia/ rotura	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D- 638	53455	900/-
Res. a la compresión (def)	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D - 695	53454	260/ 480
Res. a la flexión	Kg.cm/cm <sup>2</sup>	ASTM D - 790	53452	1450
Alargamiento de la rotura	%	ASTM D - 638	53455	NE>50
Dureza	Shore	ASTM D - 2240	53505	85.87
Módulo de elasticidad a tracción	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D - 638	53457	37000

Nota: Propiedades mecánicas con sus respectivos valores físicos, según Luque (2019, pág. 88).

**Tabla 2***Propiedades térmicas de tereftalato de polietileno*

<b>Propiedades térmico TP.</b>	<b>Unidad</b>	<b>Normas internacionales</b>	<b>Normas Din</b>	<b>Valores</b>
Coefficiente de lineal a dilatación de 23°C a 100 grados Celsius	°C	ASTM D - 696	52752	0.00008
Coefficiente de conduc. térmica	Kcal/m.h.°C	ASTM C- 177	52612	0.25
Temperatura de uso continuo de aire	°C	-----	-----	-20 a 110
Temperatura de fusión	°C	-----	-----	255
Temperatura de flexión (18.5kg/cm <sup>2</sup> )	°C	ASTM D - 648	53461	75
Calor específico	Kcal/Kg.°C	ASTM C - 351	-----	0.25
Módulo de elasticidad a tracción	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D - 638	53457	37000

Nota: Propiedades térmicas con sus respectivos valores físicos, según Luque (2019, pág. 88).

### 2.3.1. Propiedades del PET

El PET esta caracterizado a las especificaciones técnicas que lo rige y por ello el material son utilizadas en la producción de confección de fibras y como también para envases, de esta manera aplicar su uso y ser reutilizarlo conforme a sus propiedades positivas que contiene en la cual se hace la mención y estos son: la corrosión, alta rigidez, resistente, desgaste y a esfuerzos constantes. Buen

coeficiente de deslizamiento. Teniendo así resistencia química muy buena, térmica e indeformable con respecto al calor. Con características de barrera para los gases CO<sub>2</sub> factibles y la humedad buena. Con excelente resistencia al plegado y tiende que su absorción de humedad es baja. No tóxica. Totalmente reciclable, superficie barnizable. Irrompible, liviana y finalmente impermeable. Su densidad varía entre 1.34 a 1.39 g/cm<sup>3</sup> y llega a concentraciones de temperatura entre 256 a 271 °C (Luque A. M., 2019).

### 2.3.2. Ventajas y desventajas del PET

Con respecto a ventajas es un plástico muy versátil que se puede moldear en una gran variedad de formas y envases. Es ideal para hacer botellas de bebidas, envases de alimentos, fibras textiles, etc. Y las desventajas No es biodegradable. Los desechos de PET pueden permanecer en el ambiente por cientos de años. (Angeles, 2019), claramente se diferencia en la tabla N°3:

**Tabla 3**

*Ventajas y desventajas del PET*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ligero y compacto</li><li>• Seguro</li><li>• Reciclable</li><li>• Fácil de transportar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contaminante de alimentos</li><li>• Contaminante y tarda mucho en degradarse</li><li>• Gran generador de basuras</li></ul>

Nota: (Angeles, 2019)



## **2.4. MEZCLA ASFÁLTICA**

Es un material que se elabora combinado y distribuyendo un ligante de asfalto, agregados minerales, y pueden incluir aditivos. Los ligantes asfálticos pueden ser cementos asfálticos modificados y cemento asfáltico, los cuales aglutinan las partículas de los agregados para obtener una masa adhesiva, impermeable al agua, restringiendo la permeabilidad del concreto asfáltico al densificarse de forma apropiada (Monturiol, 2019).

### **2.4.1. Asfalto**

El asfalto es un hidrocarburo pesado como resultado de la destilación o descomposición del petróleo. El proceso del destilado se inicia mediante una refinería o de forma natural. Los asfaltos presentan diversas propiedades físicas que hacen que sea diferente a otros compuestos, como es la viscoelasticidad, lo que quiere decir que tiene un comportamiento viscoso como los líquidos y la elasticidad de los sólidos lo que le permite recuperar su forma inicial al deformarse, a diferencia de que con la viscosidad tiene la particularidad de que fluye y su deformación depende del tiempo (Monturiol, 2019).

### **2.4.2. Agregados.**

Forman parte del esqueleto pétreo de la mezcla los cuales aportan rigidez y resistencia (Monturiol, 2019). Es la erosión de las rocas el material granular de composición mineralógica en las cuales se clasifica en grava, escoria, roca triturada y finalmente en arena, utiliza para ser mezclado bajo diferentes tamaños y proporciones y se pasa por distintas mallas. (MTC, 2018).

### 2.4.3. Agregados Gruesos

Tamaño de partícula: Normalmente son aquellos que pasan por el tamiz de 3/4" o 19mm y quedan retenidos en el tamiz No.4 (4,75mm). Y su procedencia suelen obtenerse de la trituración de rocas como granito, caliza, basalto, entre otras. También pueden ser gravas naturales de río o cantera.

**Tabla 4**

*Estimaciones para los agregados gruesos.*

<b>Ensayos de agregado grueso</b>	<b>Norma internacional (NI)</b>	<b>Altitud de requerimiento (msnm) &gt;3000 ≤ 3000</b>
Partículas chatas y alargadas	ASTM - 4791	10% máximo
Absorción	ASTM C - 127	1.0% máximo
Sales Solubles Totales	AASHTO T - 290	0.5% máximo
Abrasión de los Ángeles	ASTM C - 131	35% - 40% mínimo
Durabilidad	ASTM C - 88	15% - 18% máximo
Caras fracturadas	ASTM D - 5821	90/70 – 85/50

Nota: Los requerimientos para los agregados gruesos están establecidas en EG – 2013.

### 2.4.4. Agregados Finos

Los agregados finos son los componentes granulares del concreto que tienen un tamaño de partícula menor a 9.5mm y mayor a 75 $\mu$ m. Son esenciales para producir un concreto de buena calidad con las propiedades necesarias en estado fresco y endurecido. Partículas de arena natural o manufacturada que pasan el tamiz 3/8" (9.5mm) y quedan retenidas en el tamiz No. 200 (75 $\mu$ m).

**Tabla 5**

*Estimaciones para los agregados finos.*

<b>Ensayos de agregado grueso</b>	<b>Norma internacional (NI)</b>	<b>Altitud de requerimiento (msnm) &gt;3000 ≤ 3000</b>
Partículas chatas y alargadas	ASTM - 4791	10% máximo
Absorción	ASTM C - 127	1.0% máximo
Sales Solubles Totales	AASHTO T - 290	0.5% máximo
Abrasión de los Ángeles	ASTM C - 131	35% - 40% mínimo
Durabilidad	ASTM C - 88	15% - 18% máximo
Caras fracturadas	ASTM D - 5821	90/70 – 85/50

Nota: Los requerimientos para los agregados gruesos están establecidas en EG – 2013.

#### **2.4.5. Aditivos.**

Estos tienen de variar una o más propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas, los cuales serán agregados en función a las necesidades que se requieran en cada proyecto (Monturiol, 2019).

#### **2.4.6. Modificadores.**

Polímeros: Polímeros sintéticos como elastómeros, plastómeros y caucho reciclado se añaden al asfalto para aumentar su elasticidad, cohesión y resistencia a deformaciones. Mejoran la resistencia al envejecimiento.

**Figura 5**

*Clasificación de aditivos y modificadores del asfalto*



Nota: (Camargo & Suárez, 2010).

#### **2.4.7. Composición química del asfalto**

El asfalto es una mezcla de agregados pétreos unidos mediante un ligante bituminoso, con la adición de pequeñas cantidades de aditivos y filler. La proporción exacta de cada componente depende del tipo específico de asfalto deseado y su aplicación.

El asfalto está compuesto principalmente por:

**Bitumen:** Es un material viscoso de color negro compuesto por hidrocarburos. Constituye el 95-99% del asfalto. El bitumen proviene del petróleo crudo.

**Agregados pétreos:** Son partículas minerales como grava, arena y finos. Representan el 1-5% del asfalto. Proporcionan el esqueleto y soporte estructural.

**Aditivos:** Se añaden en pequeñas cantidades para modificar las propiedades del asfalto. Por ejemplo, mejorar la adherencia, reducir la oxidación,



aumentar la flexibilidad, etc. Algunos aditivos comunes son polímeros, aceites minerales, fibras, azufre, entre otros.

Filler: Son partículas muy finas que ayudan a rellenar los espacios vacíos entre los agregados más grandes. El filler más usado es el polvo mineral como caliza molida o cemento.

El asfalto puede presentar variaciones debido a una amplia gama de factores, incluyendo la proporción de asfáltenos y máltenos en su composición, incluyendo exposición de luz y oxígeno, altas temperaturas, tipos de agregados usado en la mezcla de pavimento, y espesor de la película de asfalto en la partícula de los agregados (Castro, 2021).

#### **2.4.8. Asfalto con polímeros**

Los asfaltos con polímeros, también conocidos como asfaltos modificados, son mezclas de asfalto convencional con polímeros agregados, normalmente estireno-butadieno-estireno (SBS) o etileno-acetato de vinilo (EVA). La adición de estos polímeros al asfalto tiene como objetivo mejorar las propiedades y el desempeño del pavimento asfáltico, especialmente a altas temperaturas. Los polímeros le confieren mayor elasticidad, cohesión y resistencia al asfalto, reduciendo además su susceptibilidad térmica. Esto se traduce en pavimentos asfálticos más durables y resistentes a la deformación permanente, grietas térmicas y fatiga. Además, los polímeros mejoran la trabajabilidad del asfalto a mayores temperaturas. Por estos beneficios, el uso de asfaltos modificados con polímeros está ampliamente extendido en la actualidad para carreteras y aeropuertos. En resumen, es la combinación de asfalto tradicional con polímeros



para obtener mezclas asfálticas con mejores prestaciones y vida útil. (Zambrano, 2018).

## 2.5. PROPIEDADES FÍSICAS Y REOLÓGICAS

### 2.5.1. Propiedades Físicas del Asfalto.

Conforme a Sierra & Mejía (Sierra & Mejía, 2017) el asfalto es un material termoplástico, aglomerante, resistente y durable que resulta ideal para la pavimentación. Sus propiedades varían dependiendo de su composición y aplicación:

**Penetración.** - La penetración evalúa la consistencia o dureza del asfalto. Se mide determinando la profundidad en décimas de milímetro que una aguja estandarizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto bajo condiciones controladas de carga, tiempo y temperatura. Un asfalto con alta penetración es más blando y fluido, mientras que uno con baja penetración es más duro y rígido. Los rangos típicos de penetración son 40-300 décimas de milímetro. La penetración del asfalto depende de su composición química y aumenta con temperaturas más altas. Los asfaltos con mayor contenido de aceites más ligeros y menor contenido de asfáltenos tienden a tener mayor penetración. Conforme a la normativa de ASTM (2020).

**Punto de Ablandamiento.** -Es una medida importante de la viscosidad o consistencia del asfalto a temperaturas elevadas. Indicando así la temperatura a la cual el asfalto se vuelve lo adecuadamente suave y una fluidez constante. Se mide típicamente usando el ensayo de Anillo y Bola. Un anillo que contiene una muestra de asfalto se calienta gradualmente, mientras sostiene una bola de acero. La temperatura a la cual la bola se hunde a través del asfalto se registra como el

punto de ablandamiento. Valores típicos del punto de ablandamiento para asfaltos de pavimentación están en el rango de 45°C a 60°C. Cuanto más alto sea este valor, más duro o viscoso es el asfalto a temperaturas elevadas. El ablandamiento afecta las propiedades de mezclado y compactación del asfalto caliente. El Asfalto que contenga el ablandamiento más alto requieren temperaturas más altas para el mezclado, tendiendo a ser más difíciles de compactar.

### Tabla 6

*Termómetro de ablandamiento en los distintos puntos de temperatura*

Termómetro	Rangos de Temperatura
16 C	30 °C a 200 °C
15 C	-2 °C a + 80 °C

Nota: ASTM (2020)

**Ductilidad.** - Rondón y Reyes (2015) La ductilidad evalúa la capacidad del asfalto para deformarse antes de romperse. Es una medida de su flexibilidad y resistencia a la tracción. Se mide estirando una probeta de asfalto a una velocidad constante hasta que se rompe. La distancia que se estira antes de romper, medida en centímetros, es la ductilidad. Los asfaltos con alta ductilidad, por encima de 100cm, son deseables ya que resisten mejores deformaciones por cargas de tráfico sin agrietarse. Permite construir pavimentos más duraderos. La ductilidad mayormente es dependiente de la composición química del asfalto. A mayor contenido de asfaltenos (componentes más pesados), menor ductilidad. También disminuye al envejecer el ligante por oxidación. Otras propiedades físicas importantes relacionadas son: la penetración, inicio de ablandamiento, viscosidad, índice de penetración, temperatura de fragilidad Frass, etc. Una ductilidad mínima de 100cm se suele especificar para asfaltos destinados a la construcción de



carreteras sometidas a tráfico intenso. Valores entre 50-100 cm pueden ser aceptables en ciertas aplicaciones.

### **2.5.2. Propiedades Reológicas del Asfalto.**

Es un ligante que tiene relación con asfalto y también se desempeñan o conexión con el pavimento. Es la resistencia de un fluido a fluir. El asfalto tiene una viscosidad alta y un comportamiento no newtoniano, es decir, su viscosidad cambia en función de la temperatura y la velocidad de cizallamiento aplicada. A mayor temperatura, menor viscosidad. Capacidad de un material de recuperar su forma original luego de eliminar la fuerza que provocó su deformación. El asfalto tiene cierto grado de elasticidad que le permite flexibilizarse ante cargas y recuperarse. Habilidad de un material de deformarse permanentemente sin romperse ante una fuerza externa. El asfalto tiene plasticidad, permite ciertas deformaciones sin agrietarse. (Minaya & Ordoñez , 2019, pág. 7). Para simular los efectos del envejecimiento natural en un período de tiempo más corto, para probar la durabilidad de materiales, etc. Describir las condiciones ambientales que se utilizan en los ensayos, como temperatura elevada, humedad, luz UV, ciclos de congelación/descongelación, etc. Estas condiciones aceleran procesos como la oxidación, degradación química, fatiga de materiales. (Rodriguez y otros, 2016). Presentando los ensayos que se utilizan en dicha investigación las cuales se presentaran a continuación: recuperación elástica evalúa la capacidad del asfalto para recuperar su forma original después de someter una probeta a una deformación controlada. Está relacionada con la elasticidad. Índice de susceptibilidad térmica se caracteriza la susceptibilidad de un asfalto a endurecerse a bajas temperaturas y reblandecerse a altas temperaturas.



Factores de endurecimiento del asfalto es un material viscoso que se utiliza para pavimentar carreteras. Está compuesto de betún (un residuo de petróleo) mezclado con agregados como arena y gravilla. Con el tiempo, el asfalto se va endureciendo naturalmente a medida que el betún se oxida y polimeriza. Este proceso se conoce como endurecimiento o envejecimiento. Los factores ambientales como el calor, la luz solar, el oxígeno y la humedad aceleran el endurecimiento del asfalto. Las altas temperaturas son especialmente dañinas. A medida que envejece, el asfalto se vuelve más frágil y quebradizo. Comienzan a formarse grietas en la superficie. Eventualmente se desintegra en pedazos sueltos. El envejecimiento disminuye la elasticidad del pavimento asfáltico, reduciendo su capacidad para flexarse ante cargas y cambios de temperatura. Esto puede causar asentamiento, grietas y baches. (Bastidas, 2019)

El ensayo de envejecimiento de RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) utilizado para evaluar la estabilidad térmica y oxidativa de materiales como asfaltos y betunes, el ensayo RTFOT afecta las propiedades reológicas de estos materiales, como la viscosidad y el comportamiento viscoelástico. (Vacca y otros, 2012)

Envejecimiento secundario. Esta prueba representa el envejecimiento del ligante asfáltico durante el servicio y se ve afectada por variables asociadas con la mezcla asfáltica, como la relación de volumen, la permeabilidad de la mezcla, las propiedades del agregado y posiblemente otros factores. Esta prueba determina la resistencia relativa de diversos ligantes asfálticos al envejecimiento oxidativo bajo condiciones de temperatura seleccionadas e ignora todas las variables descritas. Asimismo, la norma I.N.V.E-751-07 describe los procedimientos a seguir para lograr el envejecimiento acelerado (oxidación) de los ligantes asfálticos utilizando



aire comprimido y métodos de alta temperatura. Esta prueba está diseñada para simular el envejecimiento de los ligantes asfálticos debido a la oxidación en servicio y está diseñada para los desechos generados durante las pruebas de membrana rotativa (Invias, Norma INV E-751-07 Método de envejecimiento acelerado para ligantes asfálticos utilizando una cámara de envejecimiento a presión PAV, 2013).

Reómetro de corte dinámico DSR. Este método cubre la determinación del módulo de corte dinámico y el ángulo de fase de ligantes asfálticos en ensayos de corte dinámico (oscilación) utilizando geometrías de prueba de placas paralelas. Es adecuado para ligantes asfálticos con valores de módulo de corte dinámico entre 100Pa y 10MPa. Este rango suele alcanzarse entre 6° y 88°C. Este método de prueba tiene como objetivo determinar las propiedades viscoelásticas lineales de los ligantes asfálticos para cumplir con los requisitos de especificación y no pretende ser un procedimiento para comprender la caracterización completa de las propiedades viscoelásticas del ligante. (INVIAS, 2007).

### **2.5.3. Peso específico**

La gravedad específica de una sustancia es la relación entre el peso y el volumen de una unidad de sustancia y la misma unidad de agua. La gravedad específica de la muestra total se determina comparando el peso de un cierto volumen de agregado con la masa de agua del mismo volumen a la misma temperatura. La densidad total se expresa como producto de la gravedad específica del agua. (la cual siempre tiene un valor de 1) (Chavez & Pezo, 2020)



#### 2.5.4. Estabilidad

Esta propiedad se define como la capacidad de soportar esfuerzos cortantes y deformaciones causadas por cargas de tráfico. Esto muestra que la mezcla es más estable cuando las partículas utilizadas son más angulares. (Cabrejos & Vigo, 2022).

#### 2.5.5. Porcentaje de vacíos

El propósito de la prueba es determinar el porcentaje de huecos en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas. Este es uno de los métodos y criterios de diseño para evaluar la compactación de proyectos de pavimento asfáltico (Manual de Ensayo de Materiales, 2016).

#### 2.5.6. Relación estabilidad/ flujo

Análisis de densidad y huecos utilizado para determinar el porcentaje de huecos en una mezcla compactada. Los huecos son pequeñas bolsas de aire entre partículas de agregado recubiertas con asfalto y se calcula peso específico total y el peso específico teórico de la mezcla de pavimentación y se determina la gravedad específica (Puente, 2020).

### 2.6. DEFINICIONES CONCEPTUALES

**Agregado.** – Es un conjunto de partículas que pueden ser tratadas para su uso, estas pueden provenir forma natural (canto rodado) o artificial (piedra chancada), los límites de sus parámetros como sus dimensiones, entre otros están normados en la NTP 400.037.



**Agregado Fino.** – Es un agregado que la dimensión de sus partículas debe de pasar el tamiz con una abertura de 9.5 mm o 3/8”, especificado en la Norma Técnica Peruana 350.001, estas también están sometidas a la NTP 400.037

**Agregado Grueso.** – Las dimensiones de las partículas de este agregado será retenido por el tamiz N° 4 con una abertura de 4.75 mm, están también están sometidos límites que establece la NTP 400.037.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y métodos que se utilizaron para la presente investigación se detallan a continuación:

#### 3.1. ASPECTOS GENERALES

La presente investigación se desarrolla en la ciudad Puno, que se ubica en la zona Sur de la región del mismo nombre, esta ciudad se encuentra a una altitud de 3824 m.s.n.m., lo cual es la causa de los cambios de gradientes térmicos.

#### Tabla 7

*Mapa de la región Puno*



### 3.2. MATERIALES

#### 3.2.1. Etapa preliminar

En la fase inicial de este estudio, se utilizaron herramientas y recursos para recopilar información, entre ellos:

- Útiles de escritorio para apuntar la recolección de datos
- Equipos de toma de fotografías

#### Figura 6

*Fichas para la recolectar datos*

TIPO	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	FECHA	LUGAR	TIPO DE HERRAMIENTA	TIPO DE APLICACIÓN	OPERACIONES	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD
✓	Muestras	Pasta	Alumina	Bakal	Alumina	Dioxido	Yeso	Piedra			
4/4	As	184.71	76.67	22.25	28.18	27.5	46.75	11.65			
4/4	As	1178	2172.03	4.36	22.46	22.20	11.9	11.9			
4/4	As	1130.05	23.20	74.3	23.8	24.00	101.6	101.44			
2/2	As	1121.24	26.5	74.1	21.2	21.5	101.6	101.4			
2/2	As	1195.55	21.3	21.05	24.8	20.06	101.6	101.6			
2/2	As	1193.41	20.5	21.05	20.23	20.8	101.6	101.5			
1/1	C.F										
1/1	C.F										
1/1	C.F										

#### 3.2.2. Etapa de campo

Durante la fase de campo de la investigación actual, se lleva a cabo la adquisición de los materiales esenciales destinados a la fabricación de las probetas de ensayo.

Se llevó a cabo un proceso de "muestreo de materiales" con el propósito de obtener muestras representativas de los agregados extraídos de la cantera Cabanilla. Estas muestras se recolectaron siguiendo un enfoque estratégico y meticuloso, con el objetivo de capturar de manera precisa las diversas

características y propiedades inherentes a los agregados que luego se emplearon en la formulación de la mezcla asfáltica. Este paso de muestreo de materiales desempeñó un papel fundamental en el desarrollo de la investigación, ya que garantizó que los ensayos y análisis posteriores se fundamentan en datos confiables y fieles a las propiedades reales de los materiales empleados en la realización de la mezcla asfáltica.

De esta manera, se aseguró la precisión y validez de los resultados obtenidos en la comparación de las propiedades entre los diseños de mezcla asfáltica convencional y modificado con polímeros SBS y tereftalato de polietileno.

### **Figura 7**

#### *Obtención de material PET*



Nota: Adquisición de material PET

### **3.2.3. Etapa de laboratorio**

En la etapa de laboratorio de la presente investigación se realiza las pruebas físicas y mecánicas a los agregados, la elaboración de probetas de asfalto.

**Análisis granulométrico.** - El análisis granulométrico se llevó a cabo conforme a normas como la ASTM C136 y el MTC E 202, permitiendo evaluar la proporción de diferentes tamaños de agregados presentes en la mezcla asfáltica. Esto proporcionó información crucial sobre la composición granulométrica de los agregados provenientes de la cantera Cabanilla. Las curvas granulométricas generadas revelaron la distribución de tamaños, facilitando la identificación de posibles desequilibrios en la composición que podrían influir en las características y el comportamiento de la mezcla asfáltica.

### Figura 8

#### *Ensayo de granulometría*



Nota: Ejecución del ensayo de Granulometría

**Gravedad específica y absorción de los agregados.** - Se aplicaron estándares tales como ASTM C127 y C128, junto con MTC E 202, para hallar la gravedad específica de los áridos extraídos de la cantera Cabanilla. Este procedimiento permitió medir la densidad de los agregados y evaluar su calidad. Además, utilizando directrices como la ASTM C128 y el MTC E 202, se efectuó la medición de la absorción de los agregados, brindando información pertinente acerca de la porosidad y la capacidad de absorción del material.



Estas propiedades desempeñan un rol crucial en los diseños eficaces de las mezclas asfálticas y de larga duración, hecho por el cual se presentan las ecuaciones que ayudan al desarrollo del tema.

Para estimar el “peso específico aparente” se emplea la fórmula siguiente:

$$G_s = \frac{W_s}{W_s - W_{sum}}$$

Donde:

$G_s$  = Peso específico aparente.

$W_s$  = Peso de la muestra seca en el aire.

$W_{sum}$  = Peso en el agua de la muestra saturada.

Para determinar el peso específico de la masa, se emplea la siguiente fórmula:

$$G_m = \frac{W_s}{W_{SSS} - W_{sum}}$$

Donde:

$W_s$  = Peso de la muestra seca en el aire.

$W_{sum}$  = Peso en el agua de la muestra saturada.

$G_m$  = Peso específico de masa.

$W_{SSS}$  = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.

Para determinar el peso específico de la masa saturada con superficie seca, se emplea la siguiente fórmula:



$$G_{SSS} = \frac{W_{SSS}}{W_{SSS} - W_{sum}}$$

Donde:

$W_{sum}$  = Peso en el agua de la muestra saturada.

$W_{SSS}$  = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (SSS) en el aire.

$G_{SSS}$  = Peso específico de la masa saturada con superficie seca.

**Tabla 8**

*Gravedad específica (Ge) y absorción del agregado fino (Arena chancada).*

DESCRIPCIÓN	Und.	ENSAYO		PROMEDI O
		M1	M2	
A Peso (w) del picnómetro	gr.	162,30	154,23	A
B Peso del agregado superficialmente seca	gr.	500,05	500,06	B
C Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	657,26	654,35	C
D Peso del agregado superficialmente seca + peso picnómetro + peso del agua	gr.	956,93	954,15	D
E Peso de la arena seca	gr.	497,60	497,48	E
Peso específico Saturado superficialmente Seca = B/(C+B-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,496	2,497	2,496
Peso específico de la masa = E/(C+B-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,483	2,484	2,484
Peso específico aparente = E/(C+E-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,514	2,517	2,515
Absorción de agua = (B-E)/E	%	0,49%	0,52%	0,51%

Nota: *Elaboración propia.*

**Tabla 9**

*Gravedad específica (Ge) y absorción del agregado fino (Arena natural).*

DESCRIPCIÓN	Und.	ENSAYO		PROMEDIO
		M1	M2	
A Peso del picnómetro	gr.	167,98	167,70	A
B Peso del agregado superficialmente seca	gr.	500,04	500,10	B
C Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	667,25	667,19	C
D Peso del agregado superficialmente seca + peso picnómetro + peso del agua	gr.	974,28	974,23	D
E Peso de la arena seca	gr.	497,66	497,75	E
Peso específico Saturado superficialmente Seca = B/(C+B-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,59	2,59	2,591
Peso específico de la masa = E/(C+B-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,58	2,58	2,578
Peso específico aparente = E/(C+E-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,61	2,61	2,610
Absorción de agua = (B-E)/E	%	0,48%	0,47%	0,48%

Nota: *Elaboración propia.*

**Tabla 10**

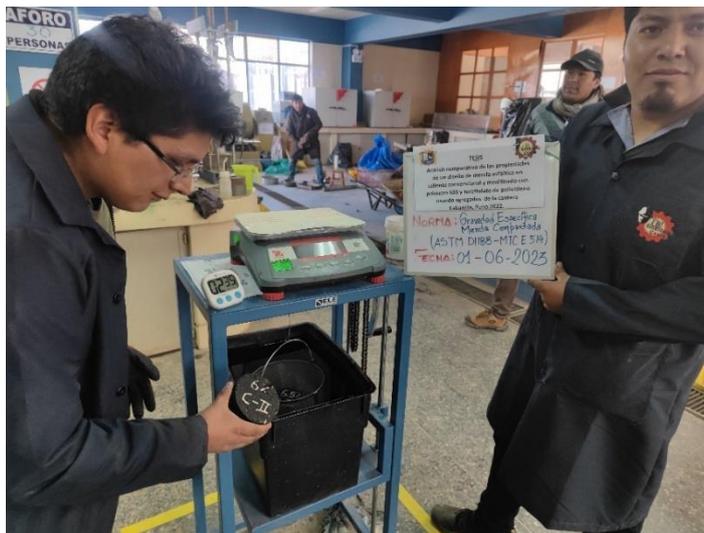
*Gravedad específica y absorción del agregado fino (Arena natural).*

DESCRIPCIÓN	Und.	ENSAYO		PROMEDIO
		M1	M2	
A Peso de la muestra seca (Horno-24h-110°C)	gr.	2304,06	2262,14	
B Peso de agregado saturada superficialmente seca	gr.	2324,15	2282,15	
C Peso de la muestra SSS (sumergida en agua)	gr.	1382,20	1357,20	
Peso específico Saturado superficialmente Seca = $B/(B-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2,47	2,47	2,467
Peso específico de la masa = $A/(B-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2,45	2,45	2,446
Peso específico aparente = $A/(A-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2,50	2,50	2,500
Absorción de agua = $((B-A)/A)*100$	%	0,87%	0,88%	0,88%

**Nota:** *Elaboración propia.*

**Figura 9**

*Ensayo de gravedad específica*



**Nota:** Autoría propia del autor

**Sales solubles.** - La detección y cuantificación de las sales solubles se llevó a cabo siguiendo los protocolos de la norma ASTM D 6470, que ofrece métodos estandarizados para su evaluación. El análisis de las concentraciones de sales solubles en los agregados brindó una comprensión más profunda de su potencial impacto en áreas como la adhesión entre agregados y asfalto, la durabilidad y la resistencia al deterioro. Esta información resultó crucial para la toma de decisiones informadas en el diseño y formulación de las mezclas asfálticas, con el fin de garantizar su rendimiento y longevidad adecuados.



Para la estimación del porcentaje de “sales solubles” en los agregados, se ha empleado la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Sales solubles} = \frac{1}{\frac{C * A}{D * B}} * 100$$

Donde:

A= Masa de la muestra.

B= Volumen de matraz aforado.

C= Volumen alícuota

D= Masa cristalizada

**Tabla 11**

*Concentración de “sales solubles” en el agregado grueso.*

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYO		PROMEDIO SALES SOLUBLES
		1	2	
Tara		A-1	A-2	0.05 %
Masa Tara	gr.	-	-	
A Masa de la muestra	gr.	505,00	506,00	
B Volumen de matraz aforado	ml.	500,00	500,00	
C Volumen alícuota	ml.	100,00	100,00	
D Masa cristalizada	gr.	0,05	0,05	
Porcentaje de sales	%	0,05	0,05	

**Nota:** *Elaboración propia.*

**Tabla 12**

*Concentración de sales solubles en el agregado fino (Arena chancada).*

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYO		PROMEDIO SALES SOLUBLES
		1	2	
Tara		A-3	A-4	0.06 %
Masa Tara	gr.	-	-	
A Masa de la muestra	gr.	150,00	150,00	
B Volumen de matraz aforado	ml.	500,00	500,00	
C Volumen alícuota	ml.	100,00	100,00	
D Masa cristalizada	gr.	0,02	0,02	
Porcentaje de sales	%	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	

**Nota:** *Elaboración propia.*

**Tabla 13***Concentración de sales solubles en el agregado fino (Arena natural).*

	DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYO		PROMEDIO SALES SOLUBLES
			1	2	
	Tara		A-5	A-6	0.09 %
	Masa Tara	gr.	-	-	
A	Masa de la muestra	gr.	150,00	150,00	
B	Volumen de matraz aforado	ml.	500,00	500,00	
C	Volumen alícuota	ml.	100,00	100,00	
D	Masa cristalizada	gr.	0,03	0,03	
	Porcentaje de sales	%	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>	

*Nota: Elaboración propia.*

**Límites de Atterberg.** - Se llevó a cabo el análisis de los límites de Atterberg en los agregados empleados en mezclas asfálticas. Estos límites, que incluyen el límite líquido y el límite plástico, son indicadores cruciales de la plasticidad y la capacidad de retención de humedad de los suelos y agregados. Para la determinación de estos límites, se siguieron las pautas establecidas por la norma ASTM D4318, que proporciona métodos normalizados para su medición.

La evaluación de los límites de Atterberg permitió comprender mejor la respuesta de los agregados ante cambios en la humedad y proporciona información esencial para la formulación de las mezclas asfálticas. Estos datos contribuyeron a la toma de decisiones informadas en relación con el contenido de agua óptimo en las mezclas, influyendo en su cohesión, trabajabilidad y desempeño general.

**Tabla 14***Límites de consistencia del material.*

LÍMITE DE CONSISTENCIA							
DESCRIPCIÓN	UND.	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Nº de ensayo		1	2	3	4	1	2
Tara		S-42	S-40	S-60			N.P.
Peso de la tara	gr.	20,13	21,2	20,68			
Peso de tara + muestra húmeda	gr.	34,92	33,89	34,21			
Peso de tara + muestra seca	gr.	32,27	31,51	31,4			
Peso del agua	gr.	2,65	2,38	2,81			
Peso de la muestra seca	gr.	12,14	10,31	10,72			
Contenido de Humedad	%	21,83	23,08	26,21			
Nº de golpes		30	23	17			
Promedio de contenido de humedad	%						

**Nota:** *Elaboración propia.*

**Ensayo de caras fracturadas (Abrasión los Ángeles).** - El ensayo de caras fracturadas, también conocido como ensayo Los Ángeles, es una prueba utilizada para evaluar el desgaste y la durabilidad de los agregados utilizados en mezclas asfálticas y de concreto. Se basa en el principio de la abrasión y simula las condiciones a las que los agregados estarían expuestos en condiciones reales de tráfico y carga.

La norma ASTM C131 y su equivalente en el MTC, MTC E 205, proporcionan los procedimientos estándar para llevar a cabo este ensayo. Los agregados se someten a ciclos de abrasión en un tambor giratorio y luego se evalúa los porcentajes (%) de pérdida de peso y la generación de partículas finas.

Este ensayo es importante para determinar la calidad y durabilidad de los agregados utilizados en las mezclas de los asfaltos, y su resultado puede influir en el diseño y rendimiento de la mezcla.

**Tabla 15**

*Resultados del primer ensayo con una o más caras fracturadas.*

CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		Peso de la muestra (gr.)	Peso del material con caras fracturadas (gr.)	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje retenido de la gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas
Tamiz (pasante)	Tamiz (Retiene)	A	B	C = (B/A) *100	D	E = C*D
3/4"	1/2"	1200	1115,65	92,97	80,00	7437,67
1/2"	3/8"	300	256,3	85,43	20,00	1708,67
		TOTAL			100,00	9146,33

*Nota: Elaboración propia.*

**Tabla 16**

*Resultados del primer ensayo con dos o más caras fracturadas.*

CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
Tamaño del agregado		Peso de la muestra (gr.)	Peso del material con caras fracturadas (gr.)	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje retenido de la gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas
Tamiz (pasante)	Tamiz (Retiene)	A	B	C = (B/A)*100	D	E = C*D
3/4"	1/2"	1200	910,38	75,87	80,00	6069,20
1/2"	3/8"	300	180,26	60,09	20,00	1201,73
		TOTAL			100,00	7270,93

*Nota: Elaboración propia.*

**Tabla 17**

*Resultados del segundo ensayo con 1 o más caras fracturadas.*

CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS						
Tamaño del agregado		Peso de la muestra (gr.)	Peso del material con caras fracturadas (gr.)	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje retenido de la gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas
Tamiz (pasante)	Tamiz (Retiene)	A	B	C = (B/A)*100	D	E = C*D
3/4"	1/2"	1200	1130,25	94,19	80,00	7535,00
1/2"	3/8"	300	264,23	88,08	20,00	1761,53
TOTAL					100,00	9296,53

*Nota: Elaboración propia.*

**Tabla 18**

*Resultados del segundo ensayo con 1 o más caras fracturadas.*

CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
Tamaño del agregado		Peso de la muestra (gr.)	Peso del material con caras fracturadas (gr.)	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje retenido de la gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas
Tamiz (pasante)	Tamiz (Retiene)	A	B	C = (B/A)*100	D	E = C*D
3/4"	1/2"	1200	905,96	75,50	80,00	6039,73
1/2"	3/8"	300	185,36	61,79	20,00	1235,73
TOTAL					100,00	7275,47

*Nota: Elaboración propia.*

## Figura 10

### *Ensayo de caras fracturadas*



Nota: Realizando el ensayo de caras fracturadas

## Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall

Este método, regido por normativas como ASTM D1559 y MTC E 502, implica compactar especímenes cilíndricos de mezcla a diferentes densidades y temperaturas. Se evalúa la Estabilidad Marshall (carga máxima soportada antes de la falla) y el Flujo Marshall (deformación vertical) de las muestras. Además, se determina la densidad máxima teórica y la gravedad específica aparente de los agregados.

## Figura 11

### *Elaboración de especímenes de asfalto*



Nota: Elaborando testigos de ensayo Marshall



### **Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas ( $G_{mb}$ ). -**

Se refiere a la relación entre el peso del material compactado y el volumen total ocupado por la mezcla. La norma ASTM D2726 y su equivalente en el MTC, MTC E 412, proporcionan los procedimientos estándar para medir la “ $G_{mb}$ ”. En este ensayo, se compacta una muestra de la mezcla asfáltica y se determina su peso y volumen.

La “ $G_{mb}$ ” es crucial para asegurar la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas, ya que una “ $G_{mb}$ ” inadecuada puede resultar en problemas de densidad, resistencia y vida útil de la mezcla. Comparar la “ $G_{mb}$ ” entre diferentes diseños de mezcla, como el convencional y el modificado con polímeros SBS y tereftalato de polietileno, puede ofrecer información valiosa sobre sus propiedades y desempeño en condiciones reales.

Para desarrollar este parámetro se ha empleado la siguiente fórmula:

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sumergido}}$$

Donde:

$G_{mb}$  = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

$W_D$  = Peso al aire del espécimen seco.

$W_{SSD}$  = Peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco.

$W_{sumergido}$  = Peso al aire del espécimen sumergido en el agua.

## Figura 12

### *Ensayo de gravedad específica*



Nota: Adquiriendo datos de los testigos

**Gravedad Específica Teórica Máxima (RICE).** - Es un parámetro fundamental en el diseño de mezclas de asfaltos, ya que indica la densidad máxima teórica que podría alcanzar una mezcla compuesta únicamente por agregados.

Este valor se obtiene considerando los volúmenes y densidades de los componentes de la mezcla, excluyendo los vacíos intergranulares. La norma ASTM D2041 y su equivalente en el MTC, MTC E 405, establecen los procedimientos para determinar la RICE.

En esta evaluación, se calcula la RICE teórica como una referencia clave para la densidad máxima que se busca lograr en la mezcla asfáltica durante la compactación, para lo cual se ha empleado la siguiente fórmula:

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D + E}$$

Donde:

$G_{mm}$  = Gravedad específica teórica máxima.

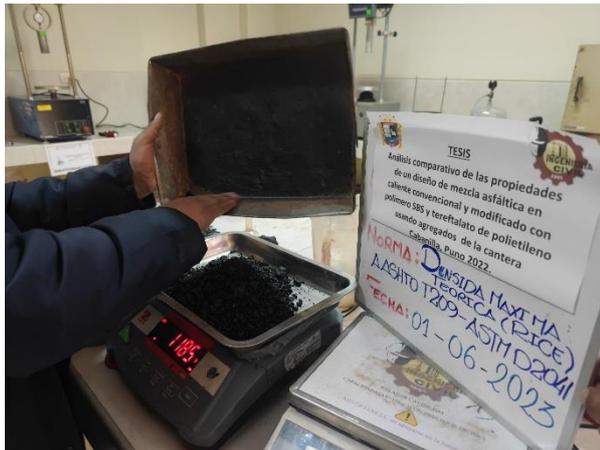
$A$  = Peso de la muestra seca en aire (gr).

$D$  = Peso de la tapa y el tazón con agua a 25°C (gr).

$E$  = Peso la de tapa, tazón, muestra y agua 25°C (gr).

### Figura 13

#### *Ensayo Rice*



Nota: obteniendo peso de 1200g para ensayo RICE

**Estabilidad y flujo Marshall.** - Estos términos son propiedades clave para evaluar la calidad y el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente. La Estabilidad se refiere al esfuerzo que muestra una muestra compactada de la mezcla asfáltica antes de sufrir deformación plástica. El Flujo Marshall, por otro lado, indica la capacidad de la mezcla para deformarse bajo carga.

Estos valores se obtienen mediante el ensayo Marshall, que sigue las normativas ASTM D1559 y su equivalente MTC E 502. Este ensayo implica compactar una muestra de mezcla asfáltica a una temperatura específica y medir la carga y la deformación resultantes. Comparar la Estabilidad y el Flujo Marshall entre el diseño convencional y el modificado con polímeros SBS y tereftalato de polietileno puede revelar diferencias en la capacidad de soporte y la deformabilidad de las mezclas, lo que es esencial para determinar su idoneidad en diferentes aplicaciones viales.

**Figura 14**

*Ensayo de estabilidad de Marshall*



Nota: Realizando el ensayo Marshall

**Figura 15**

*Ensayo de flujo Marshall*



Nota: Baño maría

#### **3.2.4. Etapa de gabinete**

Durante la fase de gabinete de la presente investigación, se lleva a cabo el análisis detallado de los resultados obtenidos en la etapa de laboratorio.

- Fichas de análisis de datos
- Software de procesamiento de datos
- Utilitarios para impresión y presentación del informe final.



### **3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. Nivel de Investigación**

La naturaleza de investigación de este trabajo se clasifica como correlacional, ya que se abordará el análisis de la correlación entre la variable independiente y la variable dependiente, de acuerdo con la clasificación de Hernández (2018).

Este enfoque de estudio busca comprender la relación o grado de asociación entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto específico.

#### **3.3.2. Tipo de Investigación**

Se utiliza el término "aplicadas" para referirse a estas investigaciones debido a que, a partir de la investigación básica, pura o fundamental en las ciencias fácticas o formales, se plantean problemas o hipótesis de trabajo con el propósito de abordar las cuestiones relacionadas con la vida productiva de la sociedad (Esteban, 2018).

El tipo de la investigación es aplicada por razones de que se emplearán los conocimientos conocidos y establecidos por normas e investigaciones realizando las pruebas por un laboratorio.

#### **3.3.3. Método de Investigación**

El método de investigación es científico debido a que se experimentará el asfalto con materiales reciclados de tereftalato de polietileno y materiales



combinados de polímeros más tereftalato de polietileno para mejorar en las propiedades de la mezcla del asfalto.

#### **3.3.4. Población**

Según, Tamayo (2018) la población se define como un conjunto de elementos de estudio, estos pertenecen al entorno espacial de donde se desarrolla el trabajo de investigación (p. 114).

La investigación tomará como lugar de estudio los pavimentos asfálticos en la ciudad de Puno donde engloba a todas las probetas que serán elaboradas de la mezcla de asfalto modificado con la incorporación de tereftalato de polietileno PET y combinación de polímeros más tereftalato de polietileno PET.

#### **3.3.5. Muestra**

Para la presente investigación tiene como muestra a 78 unidades de probetas que se someterán a las pruebas físicas y mecánicas. El tamaño de muestra se obtendrá considerando una técnica de muestreo “no probabilístico” las cuales se toman por conveniencia del investigador.

según Otzen y Manterola (2017), este tipo de muestreos tiene la facilidad de poder seleccionar todos aquellos objetos accesibles o al alcance del investigador, refiriéndose a la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el investigador.

Las muestras son tomadas por conveniencia del investigador y se realizarán un total 78 moldes y se distribuye 6 unidades de probetas para asfalto tradicional, 36 unidades de probetas adicionado con tereftalato de polietileno y 36



unidades de probetas adicionado polímeros más tereftalato de polietileno y para las dosificaciones.

**Tabla 19**

*Unidad de muestras destinadas para la prueba en laboratorio*

Ensayos de laboratorio	M- Patrón	Adición de PET			Adición de polímeros + PET		
	0%	2%	4%	8%	1%P + 1%PET	2%P + 2%PET	4%P + 4%PET
Peso específico y volumen de vacíos compactadas	3	6	6	6	6	6	6
Estabilidad y flujo de Mezclas Asfálticas compactadas	3	6	6	6	6	6	6

### 3.3.6. Prueba Estadística

Para la presente investigación se realizará una prueba de normalidad para determinar la normalidad de los datos para conocer el tipo de estadística a aplicar ya sea paramétrica o no paramétrica, asumiendo que la distribución de los datos sea normal utilizaremos la prueba paramétrica de ANOVA de un factor para conocer las medias de cada grupo respecto a la media de la muestra patrón para conocer la influencia del polímero y PET en las propiedades del asfalto.

### 3.3.7. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto

Los resultados esperados serán de manera positiva como se plantea la presente investigación, el cual significa que influirá al uso de los materiales polímeros y tereftalato de polietileno (PET), de las cuales resultan un mejor



comportamiento en sus propiedades será recomendada su uso en futuros proyectos para optimizar los costos, la contaminación y mejorar la calidad de las vías, en cumplimiento con su vida útil.

### **3.3.8. Metodología Experimental**

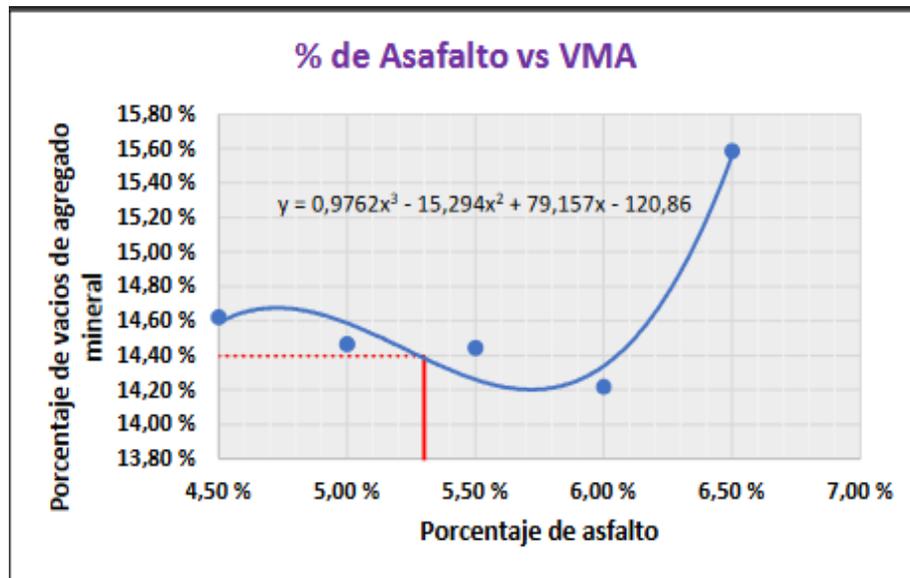
En la investigación se desarrolla una metodología con respecto a los objetivos establecidos en los distintos párrafos de dicha investigación. Por ello se procede a realizar los ensayos que se estableció en la matriz de consistencia en las cuales se analizó y se aprobó los agregados para realizar el concreto asfáltico con las distintas dosificaciones. Teniendo en cuenta con respecto a la gradación al “Manual de Carreteras de Especificaciones Generales” de EG - 2013

### **3.3.9. Gráficas óptimas de la mezcla asfáltica**

De acuerdo con el método de Marshall, se presentan diversas representaciones gráficas basadas en los resultados obtenidos. Específicamente, estas gráficas se construyen considerando el contenido óptimo de asfalto en las abscisas para todas las mezclas asfálticas con PET, mientras que en las ordenadas se representan la gravedad específica de la mezcla asfáltica ( $G_{mb}$ ) de la muestra compactada, el flujo Marshall, el contenido de vacíos de aire y el contenido de vacíos en el agregado mineral. Cada parámetro se visualiza en una gráfica independiente.

**Figura 16**

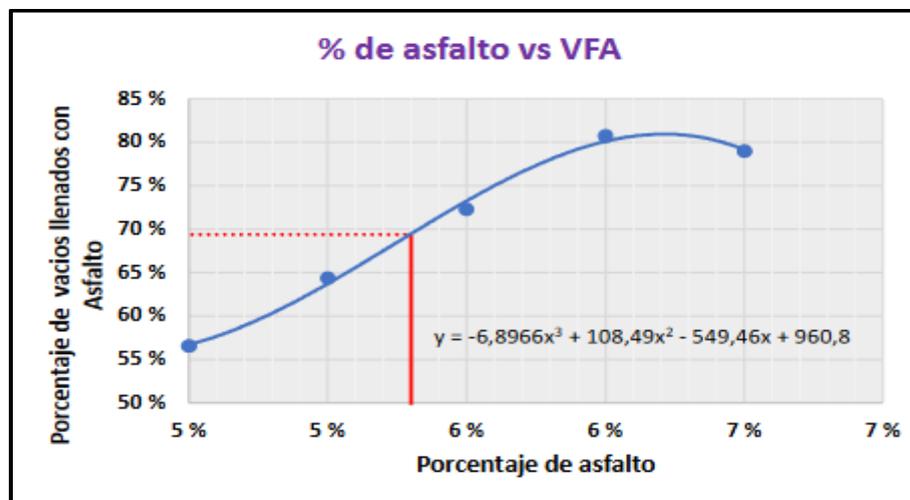
*Gráfico de porcentajes de asfalto vs VMA.*



Nota: Autoría propia del autor.

**Figura 17**

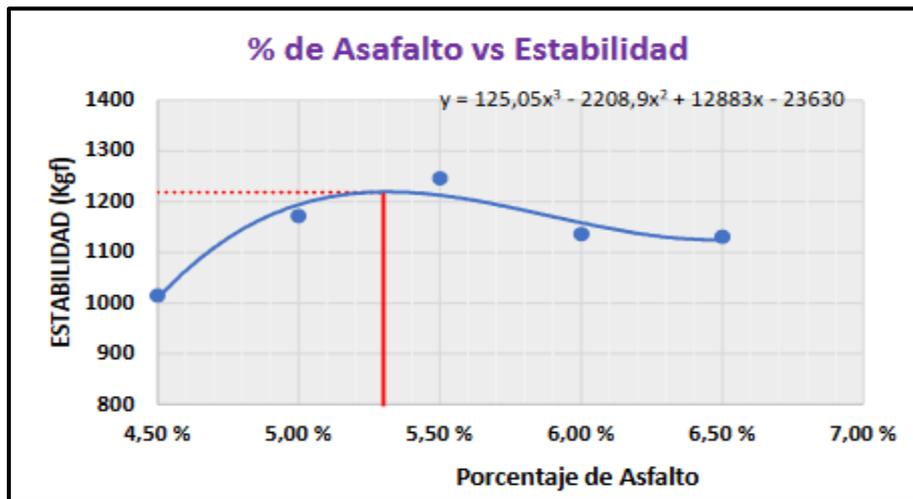
*Gráfico de porcentaje de asfalto vs VFA.*



Nota: Autoría propia del autor.

**Figura 18**

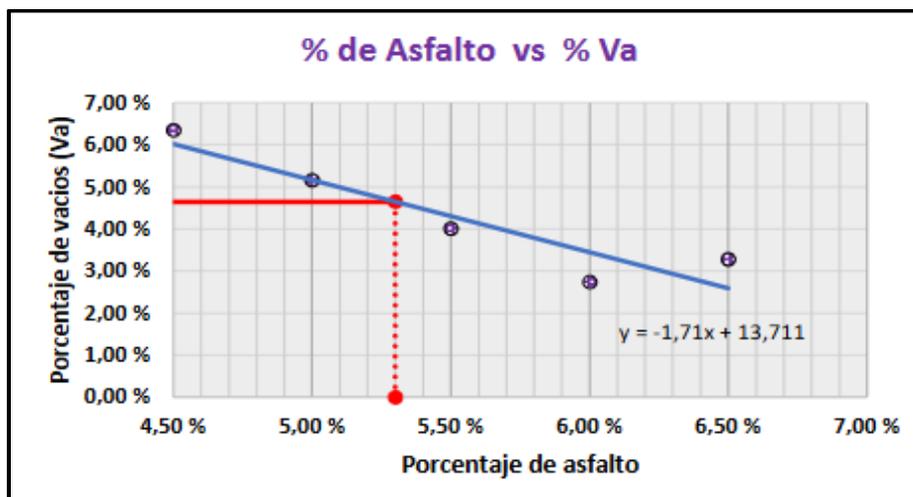
*Gráfico de asfalto vs estabilidad.*



Nota: Autoría propia del autor.

**Figura 19**

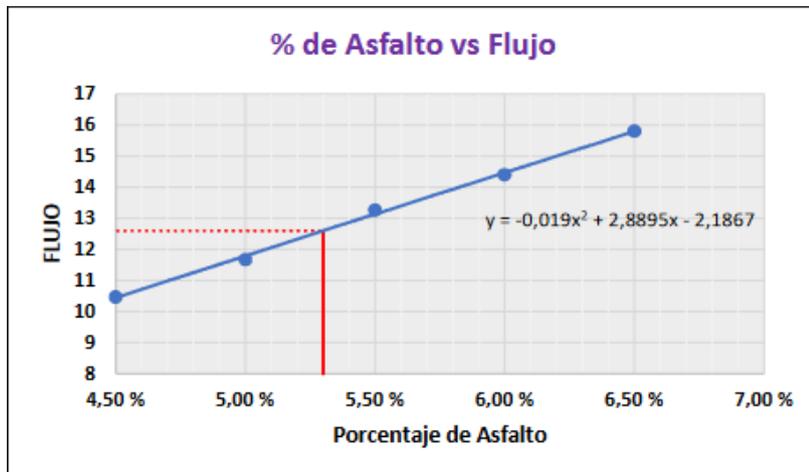
*Gráfico de asfalto & Va.*



Nota: Autoría propia del autor.

**Figura 20**

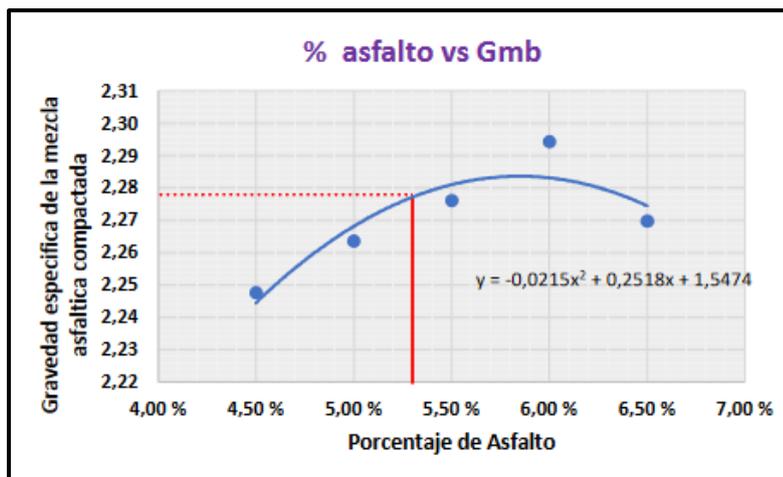
*Gráfico de asfalto & flujo.*



Nota: Autoría propia del autor.

**Figura 21**

*Gráfico de asfalto & Gmb.*



Nota: Autoría propia del autor.

### 3.3.10. Resultado del contenido óptimo de asfalto

El resultado obtenido en referencia al contenido óptimo con respecto al asfalto se aplica el método del “Instituto del Asfalto”, resaltando la estabilidad máxima, contenido de vacíos de aire y finalmente la densidad máxima como se aprecia en la tabla 20.

Densidad máxima con respecto al asfalto = 2.384



Estabilidad máxima del contenido de asfalto = 1219.0

Vacíos de aire al 3.28% del contenido de asfalto = 6.50%

Optimo contenido de asfalto = 5.30%

### 3.3.11. Resultado del contenido óptimo de asfalto

**Tabla 20**

*Diseño de concreto asfáltico convencional*

<b>Diseño de combinación de agregados</b>	
<b>Agregado</b>	<b>% Peso</b>
Filler	5.00%
Agregado grueso	38.00%
Arena Natural	20.00%
Arena Chancada	37.00%
<b>Cemento asfáltico</b>	
Optimo contenido de asfalto	6.50%
Peso específico de asfalto (gr/cm <sup>3</sup> )	1.215
Tipo de asfalto	PEN 120-150
% de asfalto	5.3
<b>Características físicas</b>	<b>Diseño</b>
Porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA)	69.40%
Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)	14.40%
Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada (Gmb) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.278
Porcentaje de vacíos (Va)	4.65
Porcentaje de asfalto	5.30%
Estabilidad mínima (Kg)	1219.0
Flujo, 0.25mm (1/100")	12.59
Estabilidad/flujo	3871.60
Fluencia (0.25mm)	13.00%
Porcentaje de cemento asfáltico	5.30%
# golpes de compactación a cada espécimen	75
Temperatura de compactación	150
Temperatura de mezcla °C	120

**Nota:** Autoría propia del autor.

### 3.3.12. Control de calidad de PET + SBS

Los resultados obtenidos en referencia al control de calidad de PET (tereftalato de polietileno) y el SBS (estireno-butadieno-estireno) se establece

conforme a Los estándares de calidad se establecerían en base a las especificaciones del producto final deseado. Se utilizarían métodos estadísticos de control de calidad para asegurar que el proceso se mantenga estable y que se cumplan consistentemente esas especificaciones. El control de calidad de estos materiales probablemente incluiría pruebas como:

- Pruebas físicas: propiedades mecánicas, densidad, índice de fluidez, etc.
- Pruebas químicas: composición, degradación, estabilidad térmica y a la luz UV, etc.
- Pruebas de rendimiento: resistencia a la permeabilidad, resistencia al impacto, propiedades de barrera, etc.
- Inspecciones visuales: apariencia, presencia de defectos, uniformidad, etc.

**Tabla 21**

*Control de calidad de PET + SBS.*

Ensayos de agregado grueso	Método	Unidades	Norma de ISO	Valores físicos
Densidad		g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183	1,36
Temperatura de servicio		C°		- 40 + 110
Temperatura máxima de servicio en periodos breves		C°		≤160
Esfuerzo en el punto de fluencia		MPa	ISO 527	80
Elongación a la rotura		%	ISO 527	20
Módulo de elasticidad a la tensión		MPa	ISO 527	3200
Resistencia al impacto		kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179	82
Dureza		Shore D	ISO 13000-2	81
Tiempo límite de rendimiento δ 1/1000	23°C/50%RH 100°C	Mpa	ISO 899	12
Temperatura de distorsión térmica	Método A Método B	C° C°	ISO 75 ISO 75	67 165
Punto de Fusión	Método A	C°	ISO 3146	255
Coefficiente de expansión lineal térmica		1/K 10-5	DIN 53752	6
Constante dieléctrica	1 MHz		IEC 250	3,3
Factor de disipación	1 MHz		IEC 250	0.02
Resistencia dieléctrica		KV/mm	IEC 243	50
Resistividad volumétrica		Ω·cm	IEC 243	10 <sup>16</sup>
Absorción de humedad a 23°C, 50% RH		%	ISO 62	~0,23
Absorción de Agua a 23°C		%	ISO 62	- 0.5

**Nota:** Autoría propia del autor

### 3.3.13. Control de calidad físicas y químicas del cemento asfáltico

Se procede con la verificación del control de calidad físico y químico del asfalto tipo PEN 120-150. No fue necesario realizar estos controles directamente, ya que la empresa proveedora, REPSOL S.R.L, los llevó a cabo en la misma refinería. Por lo tanto, la acción se limitó a verificar el cumplimiento del asfalto con los estándares establecidos en la EG-2013, como se detalla en la tabla N°22.

**Tabla 22**

*Propiedades físicas y químicas.*

Ensayos	Características de cemento asfáltico
Apariencia	Sólido a temperaturas ambiente, más de 100° C, homogéneo y libre de agua.
Color	Marrón oscuro a negro
Umbral olfativo	Característico
PH	NED
Punto de fusión, °C	No aplica
Punto de inflamación, °C	218 min
Tasa de evaporación	NED
Inflamabilidad	NED
Límites de inflamabilidad, %Vol. en aire	NED
Presión de vapor	NED
Densidad o peso específico	0.92 a 1.02
Densidad relativa	1.00 – 1.18 aprox.
Solubilidad en agua	En CS <sub>2</sub> (sulfuro de carbono)
Coefficiente de reparto: n-octanol/agua	NED
Temperatura de autoinflamación, °C	485 aprox
Temperatura de descomposición	30°C
Cambios de temperatura y ablandamiento	Amplio rango de temperatura de endurecimiento
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	140min
Toxicidad	No es tóxico
Endurecimiento	lento
Durabilidad	alta
Afinidad al agua	No resiste muy bien en la presencia de agua
Manufactura u origen	Destilación fraccionada del petróleo crudo

**Nota:** Datos obtenidos de la empresa REPSOL nos facilita las características del asfalto. Petroperú (2019).

### 3.3.14. Control de calidad de los agregados

Tal y como se muestra en la ilustración en referencia a los agregados finos y gruesos, los procesos a realizar en la presente investigación es la piedra chancada

para (1/2", 3/8" para agregados gruesos, arena natural y la arena chancada. Con el fin de conocer la calidad de los agregados claramente se aprecia en las tablas N° 23 y N° 24.

**Tabla 23**

*Control de calidad de los agregados gruesos.*

Ensayos de agregado grueso	Norma internacional (NI)	Altitud de requerimiento (msnm) >3000 ≤ 3000	Piedra chancada ½ "	Piedra chancada 3/8"	Constatación Piedra chancada ½ "	Constatación Piedra chancada 3/8"
Partículas chatas y alargadas	ASTM - 4791	10% máximo	0.00%	0.00%	Si cumple	Si cumple
Absorción	ASTM C - 127	1.0% máximo	0.46%	0.49%	Si cumple	Si cumple
Sales Solubles Totales	AASHTO T - 290	0.5% máximo	0.05%	0.05%	Si cumple	Si cumple
Abrasión de los Ángeles	ASTM C - 131	35% - 40% mínimo	17.89%	14.90%	Si cumple	Si cumple
Durabilidad	ASTM C - 88	15% - 18% máximo	1%	2%	Si cumple	Si cumple
Caras fracturadas	ASTM D - 5821	90/70 - 85/50	85.43%	92.97%	Si cumple	Si cumple

Nota: Se hace mención a la piedra chancada de ½" y a la otra piedra chancada de 3/8"

claramente se visualiza en la tabla 23 y a cada una de sus ensayos con respecto al agregado grueso. Fuente: Autoría propia del autor.

**Tabla 24**

*Control de calidad de los agregados fino.*

Ensayos de agregado grueso	Norma internacional (NI)	Altitud (msnm) >3000 ≤ 3000	Arena natural	Arena chancada	Constatación Arena natural	Constatación Arena chancada
Azul de metileno	AASHTO TP - 57	8% máximo	2.5	3.5	Si cumple	Si cumple
Equivalente de Arena	ASTM D - 2419	70	84.00	84.33	Si cumple	Si cumple
Absorción	ASTM C - 128	0.5% máximo	0.48%	0.51%	Si cumple	Si cumple
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	ASTM D - 4318	NP	No presenta	No presenta	Si cumple	Si cumple
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	ASTM D - 4318	NP	No presenta	No presenta	Si cumple	Si cumple
Durabilidad	ASTM C - 88	18% máximo	91.46%	92.97%	Si cumple	Si cumple
Sales Solubles Totales	AASHTO T - 290	0.5% máximo	0.09%	0.06%	Si cumple	Si cumple

Nota: Se hace mención a la arena natural y arena chancada claramente se visualiza en la tabla 24 y a cada una de sus ensayos con respecto al agregado fino. Fuente: Autoría propia del autor.



### **Interpretación:**

Los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos cumplen con los requerimientos establecidos para cada agregado en mención como agregado grueso y fino y cumpliendo los estándares de calidad conforme a la norma internacional, en la cual se establece que las piedras chancadas de 3/8”, piedra chancada 1/2”, arena natural y finalmente la arena chancada cumplen con los estándares permitidos por la EG - 2013, se recomienda utilizar en la producción del concreto asfáltico convencional.

#### **3.3.15. Gravedad Bulk de material compactada**

Los resultados obtenidos del ensayo de “gravedad específica bulk”, claramente se aprecia en dicha investigación y en la tabla 25:

$$Gmb = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{SUMERGIDO}}$$

Donde:

Gmb = Gravedad específica bulk, mezcla compactada

WSSD = Peso al aire de muestra saturado, seco

WSUMERGIDO = Peso de la muestra sumergida.

WD = Peso al aire, espécimen seco

**Tabla 25***Gravedad específica Bulk*

<b>Gravedad específica Bulk en referente a concreto asfáltico convencional (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				
<b>Muestra total</b>	<b>Bulk MAC</b>	<b>% de agregado</b>	<b>% de asfalto</b>	<b>% Total</b>
Muestra 1	2.248	95.5%	4.50%	100%
Muestra 2	2.264	95.0%	5.00%	100%
Muestra 3	2.276	94.5%	5.50%	100%
Muestra 4	2.294	94.0%	6.00%	100%
Muestra 5	2.270	93.5%	6.50%	100%

Nota: La tabla muestra las proporciones de los porcentajes de agregado y asfalto en referencia a gravedad específica de Bulk.

**3.3.16. Gravedad específica teórica máxima (Rice)**

Resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica teórica máxima, se realiza conforme a norma técnica de AASHTO T 209 claramente se aprecia en dicha investigación y en la tabla 26:

$$Gmm = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

Gmm = Gravedad específica teórica, máxima de la mezcla

D = Masa de tapa y recipiente incorporado con agua 25(°C), g

E = Masa de tapa, recipiente, espécimen y agua 25(°C), g

A = Masa del espécimen seca en aire (g)

**Tabla 26***Gravedad específica teórica máxima (Rice)*

<b>Gravedad específica Teórica máxima en referente a concreto asfáltico convencional (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				
<b>Muestra total</b>	<b>Rice</b>	<b>% de agregado</b>	<b>% de asfalto</b>	<b>% Total</b>
Muestra 1	2.400	95.5%	4.50%	100%
Muestra 2	2.387	95.0%	5.00%	100%
Muestra 3	2.371	94.5%	5.50%	100%
Muestra 4	2.359	94.0%	6.00%	100%
Muestra 5	2.347	93.5%	6.50%	100%

Nota: La tabla muestra las proporciones de los porcentajes de agregado y asfalto en referencia a gravedad específica teórica máxima.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos físicos y mecánicos a los agregados.

**Tabla 27**

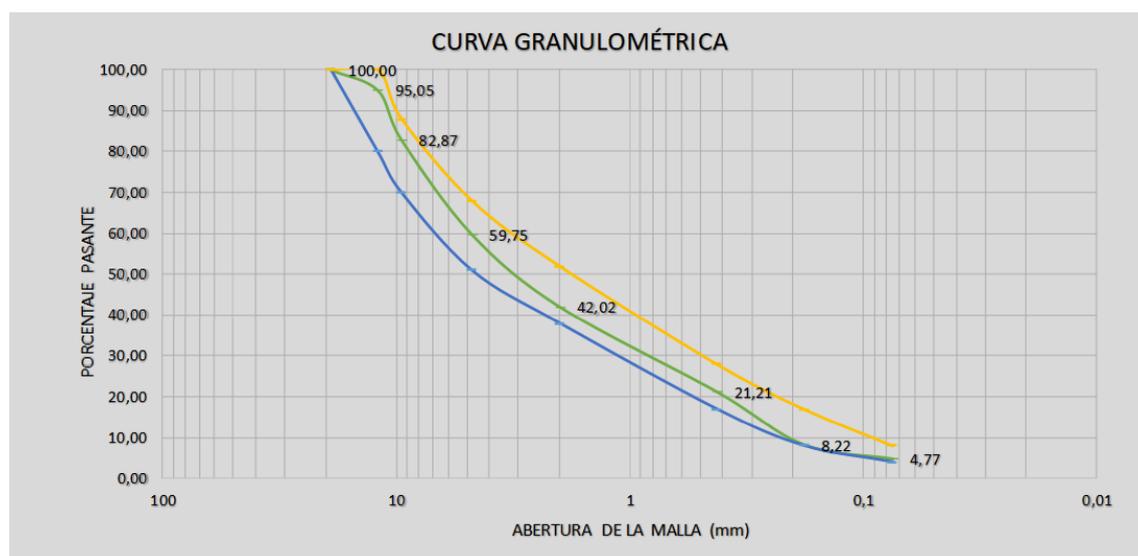
*Análisis granulométrico*

TAMIZ		% RETENIDA					TOTAL		
ASTM	Pulg	mm	Piedra chancada de 3/4"	Piedra chancada de 3/8"	Arena natural	Gravilla	Filler-cemento	Σ	TOTAL, PASANTE (%)
1"	25		0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	100
3/4"	19		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12		21.54	0.00	0.00	0.00	0.00	4.95	95.05
3/8"	9.5		41.85	17.01	0.00	0.00	0.00	12.18	82.87
Nº 4"	4.75		35.50	71.25	0.61	11.20	0.00	23.12	59.75
Nº 10	2		0.95	11.59	2.45	41.31	0.00	17.73	42.02
Nº 40	0.425		0.08	0.13	38.96	34.78	2.20	20.81	21.21
Nº 80	0.18		0.04	0.01	47.10	9.43	1.47	12.99	8.22
Nº 200	0.075		0.03	0.00	10.87	3.00	3.12	3.45	4.77
200>			0.02	0.01	0.00	0.28	93.21	4.77	0.00

Nota: Autoría propia del autor.

**Figura 22**

*Análisis granulométrico de los agregados*



Nota: Curva Granulométrica.

La Tabla 27 y la figura 22 se muestra la distribución granulométrica de los agregados empleados para la elaboración de la mezcla de asfalto de donde luego de realizar un análisis se obtuvo un promedio de la mezcla de agregados tal como se presenta en la figura indicando que los agregados se encuentran en los rangos establecidos para cada una de las mallas granulométricas.

**Tabla 28***Gravedad específica de agregado grueso*

GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADO GRUESO				PROMEDIO
Peso específico Saturado superficialmente Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2,47	2,47	<b>2,467</b>
Peso específico de la masa	gr/cm <sup>3</sup>	2,45	2,45	<b>2,446</b>
Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2,50	2,50	<b>2,500</b>
Absorción de agua	%	0,87%	0,88%	<b>0,88%</b>

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 28 muestra los valores de gravedad específica obtenidos del agregado grueso obtenido de la Cantera Cabanilla. Se presentan tres métodos de medición: la primera es el peso específico saturado superficialmente seco (SSS), el peso específico de la masa y el peso específico aparente. Los resultados promedio para cada método son los siguientes: 2,47 gr/cm<sup>3</sup>, 2,45 gr/cm<sup>3</sup> y 2,50 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente. Además, se proporciona un porcentaje de absorción de agua de 0,88% en promedio.

**Figura 23***Ensayo de índice de plasticidad*

RESULTADOS		ÍNDICE DE PLASTICIDAD
LÍMITE LÍQUIDO	0,00	No presenta
LÍMITE PLÁSTICO	0,00	No presenta

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 23 muestra los resultados el índice de plasticidad donde se obtuvo un resultado de no plástico por lo tanto se cumple con los requerimientos establecidos.

**Tabla 29**

*Gravedad específica del agregado fino (arena chancada)*

GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADO FINO (ARENA CHANCADA)				PROMEDI O
Peso específico Saturado superficialmente Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2,496	2,497	<b>2,496</b>
Peso específico de la masa	gr/cm <sup>3</sup>	2,483	2,484	<b>2,484</b>
Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2,514	2,517	<b>2,515</b>
Absorción de agua	%	0,49%	0,52%	<b>0,51%</b>

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 29 presenta la gravedad específica del árido fino, específicamente de la arena chancada obtenida de la Cantera Cabanilla. Se destacan tres métodos de medición: el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico de la masa y el peso específico aparente. Los valores promedio resultantes de estos métodos son: 2,496 gr/cm<sup>3</sup>, 2,484 gr/cm<sup>3</sup> y 2,515 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente. Asimismo, se proporciona el porcentaje de absorción de agua, el cual se registra con un promedio de 0,51%.

**Tabla 30**

*Gravedad específica del agregado fino (arena natural)*

GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADO FINO (ARENA NATURAL)				PROMEDIO
Peso específico Saturado superficialmente Seca = $B/(C+B-D)$	gr/cm <sup>3</sup>	2,59	2,59	<b>2,591</b>
Peso específico de la masa = $E/(C+B-D)$	gr/cm <sup>3</sup>	2,58	2,58	<b>2,578</b>
Peso específico aparente = $E/(C+E-D)$	gr/cm <sup>3</sup>	2,61	2,61	<b>2,610</b>
Absorción de agua = $(B-E) / E$	%	0,48%	0,47%	<b>0,48%</b>

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 30 detalla las características de la gravedad específica y la absorción de agua de la arena natural en tres medidas diferentes: peso específico saturado superficialmente seco (SSS), peso específico de la masa y peso específico aparente. Los valores promedio de estas propiedades para la "arena natural" son aproximadamente

2,591 gramos por centímetro cúbico ( $\text{gr/cm}^3$ ), 2,578  $\text{gr/cm}^3$  y 2,610  $\text{gr/cm}^3$ , respectivamente. Además, se muestra la absorción de agua, que es aproximadamente del 0,48%.

**Tabla 31**

*Caras fracturas de agregados*

DESCRIPCIÓN	ENSAYO 1	ENSAYO 2	PROMEDIO	RESULTADO
Porcentaje con una cara fracturada	91,46 %	92,97 %	92,2 %	92
Porcentaje con dos caras fracturadas	72,71 %	72,75 %	72,7 %	73

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 31 presenta información sobre las caras fracturadas en agregados. En el primer ensayo, se observa que el 91,46% de los agregados tienen “una cara fracturada”, mientras que el 72,71% tienen dos caras fracturadas. En el segundo ensayo, estos porcentajes cambian ligeramente a 92,97% y 72,75% respectivamente. El promedio de los dos ensayos muestra que, en general, alrededor del 92,2% de los agregados tienen una cara fracturada y aproximadamente el 72,7% tienen dos caras fracturadas.

**Tabla 32**

*Sales solubles de los agregados*

DESCRIPCIÓN	PROMEDIO DE SALES SOLUBLES
Agregado grueso	0.05%
Agregado fino (arena chancada)	0.06%
Agregado fino (arena natural)	0.09%

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 32 presenta el promedio de sales solubles en diferentes tipos de agregados. Para el "agregado grueso", el promedio de sales solubles es de 0.05%. En el caso del "agregado fino" con tipo de material "arena chancada", el promedio de sales

solubles es ligeramente mayor, siendo de 0.06%. Por último, el "agregado fino" con tipo de material "arena natural" muestra el promedio más alto de sales solubles, con un valor de 0.09%.

#### 4.1. RESULTADOS DE LAS GRAVEDAD BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS

**Tabla 33**

*Gravedad específica Bulk de las mezclas asfálticas con PET*

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (Gmb)						
Espécimen	Porcentaje de PET	Peso al aire del espécimen en seco: (Ws)	Peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco: (Wsss)	Peso del espécimen sumergido en agua: (W sumergido)	Gmb Ws/(Wsss-Wsumergido)	Gmb
M1	0.0 %	1203	1204	679	2.291	2.291
M2		1194	1195	674	2.292	
M3		1196	1198	676	2.291	
M1	2.0 %	1180	1182	665	2.282	2.288
M2		1177	1178	663	2.285	
M3		1194	1195	675	2.296	
M1	4.0 %	1199	1201	676	2.284	2.281
M2		1197	1199	673	2.276	
M3		1190	1192	671	2.284	
M1	8.0 %	1184	1186	661	2.255	2.257
M2		1199	1202	672	2.262	
M3		1190	1193	665	2.254	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 33 presenta datos de la gravedad específica Bulk (Gmb) obtenido de las mezclas asfálticas compactadas que incluyen diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). Se utilizan tres especímenes, denominados "M1", "M2" y "M3", se muestra también el porcentaje de PET (0.0%, 2.0%, 4.0% y 8.0%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 2.291, 2.288, 2.281 y 2.257 de gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas (Gmb) para cada porcentaje de PET añadido.

**Figura 24**

*Gravedad específica Bulk de las mezclas asfálticas con PET*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 24 representa gráficamente la variación de la gravedad específica Bulk (Gmb) obtenidos en las mezclas asfálticas compactadas que contienen diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). En el eje horizontal, se representan los diferentes porcentajes de PET utilizados en las mezclas (por ejemplo, 2%, 4% y 8%). En el eje vertical, se representa el valor de Gmb calculado para cada combinación de porcentajes de PET. La figura ilustra cómo cambia la Gmb a medida que el porcentaje de PET varía en las mezclas asfálticas.

**Tabla 34***Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con PET - SBS*

<b>Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas (Gmb)</b>						
<b>Espécimen</b>	<b>Porcentaje de PET Y SBS</b>	<b>Peso al aire del Espécimen seco: (Ws)</b>	<b>Peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco: (Wsss)</b>	<b>Peso del espécimen sumergido en agua: (Wsumergido)</b>	<b>Gmb Ws/(Ws ss-Wsumergido)</b>	<b>Gmb</b>
M1	0.0 %	1203	1204	679	2.291	2.291
M2		1194	1195	674	2.292	
M3		1196	1198	676	2.291	
M1	1%-1%	1189	1191	671	2.287	2.290
M2		1179	1180	665	2.289	
M3		1186	1187	670	2.294	
M1	2%-2%	1191	1193	671	2.282	2.284
M2		1195	1196	676	2.298	
M3		1193	1194	669	2.272	
M1	4%-4%	1184	1186	662	2.260	2.261
M2		1178	1180	657	2.252	
M3		1170	1171	656	2.272	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 34 presenta datos sobre la gravedad específica Bulk (Gmb) obtenido de las mezclas asfálticas compactadas que contienen diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado) y SBS. Se utilizaron tres especímenes, denominados "M1", "M2" y "M3", se muestra también el porcentaje de PET (0.0%, 1.0%, 2.0% y 4.0%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 2.291, 2.290, 2.284 y 2.261 de gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas (Gmb) para cada porcentaje de PET añadido.

## Figura 25

*Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con PET - SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 25 exhibe gráficamente la variación de la gravedad específica Bulk (Gmb) obtenida de las mezclas asfálticas compactadas que incorporan distintos porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado) y SBS. En el eje horizontal se presentan los diversos porcentajes de PET y SBS empleados en las mezclas (0%, 1% - 1%, 2% - 2% y 4% - 4%). En el eje vertical se muestra el valor calculado de Gmb para cada combinación de porcentajes de PET y SBS. La figura ilustra cómo varía la Gmb conforme al aumento de los porcentajes de PET y SBS en las mezclas asfálticas.

## 4.2. RESULTADOS DE LA GRAVEDAD TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA RICE

**Tabla 35**

*Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE con PET*

Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (rice) (gmm)								
Muestra	Porcent aje PET	Masa de la muestra seca en aire	Masa del recipien te + muestra	Masa de tapa y tazón	Masa de tapa y tazón con agua	Masa de tapa y tazón + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm (brut o)	Gmm
		A = B - C	B	C	D	E	A/(A +D- E)	
M1	0.0 %	1181	4884	3703	7992	8676	2.376	2.376
M2		1192	4895	3703	7992	8682	2.376	
M1	2.0 %	1184	4887	3703	7992	8678	2.378	2.378
M2		1186	4889	3703	7992	8679	2.378	
M1	4.0 %	1183	4886	3703	7992	8678	2.380	2.380
M2		1190	4893	3703	7992	8682	2.380	
M1	8.0 %	1193	4896	3703	7992	8684	2.383	2.383
M2		1189	4892	3703	7992	8682	2.383	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 35 presenta datos sobre la gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) que contiene diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). Se utilizaron tres especímenes, denominados "M1", "M2" y "M3", se muestra también el porcentaje de PET (0.0%, 2.0%, 4.0% y 8.0%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 2.376, 2.378, 2.380 y 2.383 de gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) para cada porcentaje de PET añadido.

**Figura 26**

*Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE con PET*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 26 representa gráficamente la variación de la gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) en mezclas asfálticas compactadas que contienen diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). En el eje horizontal, se representan los diferentes porcentajes de PET utilizados en las mezclas (0%, 2%, 4% y 8%). En el eje vertical, se representa el valor de Gmm calculado para cada combinación de porcentajes de PET. La figura ilustra cómo cambia la Gmm a medida que el porcentaje de PET varía en las mezclas asfálticas.

**Tabla 36**

*Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE con PET + SBS*

GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (Gmm)								
Muestra	Porcentaje PET+SBS	M de la muestra seca en aire	M del recipiente + muestra	M de tapa y tazón	M de tapa y tazón con agua	Masa de tapa y tazón + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm (bruto)	Gmm
		A = B - C	B	C	D	E	A/(A+D-E)	
M1	0.0 %	1181	4884	3703	7992	8676	2.376	2.376
M2		1192	4895	3703	7992	8682	2.376	
M1	1%	1184	4887	3703	7992	8678	2.379	2.379
M2		1189	4892	3703	7992	8681	2.379	
M1	2%	1189	4892	3703	7992	8682	2.383	2.382
M2		1186	4889	3703	7992	8680	2.382	
M1	4%	1190	4893	3703	7992	8683	2.384	2.384
M2		1185	4888	3703	7992	8680	2.384	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 36 presenta datos sobre la gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) que contiene diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado) y SBS. Se utilizaron tres especímenes, denominados "M1", "M2" y "M3", se muestra también el porcentaje de PET y SBS (0% - 1%, 2% - 2% y 4% - 4%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 2.376, 2.379, 2.382 y 2.384 de gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) para cada porcentaje de PET y SBS añadido.

### Figura 27

*Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE con PET + SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 27 representa gráficamente la variación de la gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) en mezclas asfálticas compactadas que contienen diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado) y SBS. En el eje horizontal, se representan los diferentes porcentajes de PET y SBS utilizados en las mezclas (0%, 1% - 1%, 2% - 2% y 4% - 4%). En el eje vertical, se representa el valor de Gmm calculado para cada combinación de porcentajes de PET y SBS. La figura ilustra cómo cambia la Gmm a medida que el porcentaje de PET y SBS varía en las mezclas asfálticas.

**Tabla 37**

*Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE*

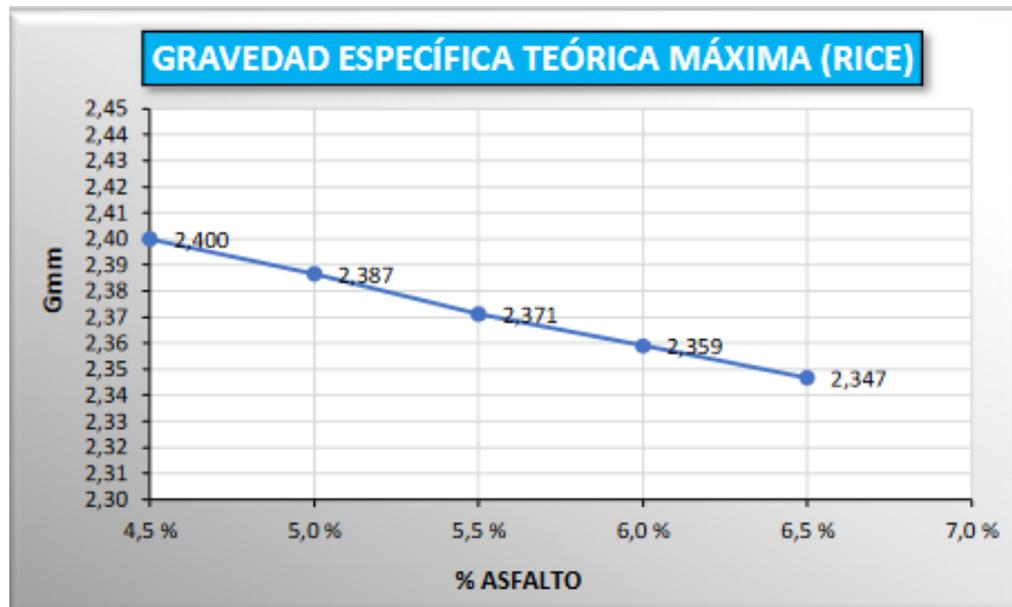
GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (Gmm)								
Muestr a	Porcent aje de cemento asfáltico	Masa de la muestra seca en aire	Masa del recipient e + muestra	Masa de tapa y tazón	Masa de tapa y tazón con agua	Masa de tapa y tazón + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm (bruto )	Gm m
		A = B - C	B	C	D	E	A/(A+ D-E)	
A1	4.5%	1188	4891	3703	7992	8685	2.400	2.400
A2		1182	4885	3703	7992	8682	2.400	
B1	5.0%	1185	4888	3703	7992	8681	2.387	2.387
B2		1188	4891	3703	7992	8682	2.387	
C1	5.5%	1185	4892	3703	7992	8677	2.371	2.371
C2		1183	4889	3703	7992	8676	2.371	
D1	6.0%	1189	4893	3703	7992	8677	2.359	2.359
D2		1186	4888	3703	7992	8675	2.359	
E1	6.5%	1185	4893	3703	7992	8672	2.347	2.347
E2		1188	4888	3703	7992	8674	2.347	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 37 presenta información sobre la gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) en mezclas con distintos porcentajes de asfalto. Se emplearon tres especímenes designados como "A(1, 2)", "B(1, 2)", "C(1, 2)", "D(1, 2)" y "E(1, 2)". Se incluye el porcentaje de cemento asfáltico (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%) para cada conjunto de datos, y se presentan los valores promedio de 2.400, 2.387, 2.371, 2.359 y 2.347 para la gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) correspondiente a cada porcentaje de cemento asfáltico.

**Figura 28**

*Gravedad específica teórica máxima de la mezcla RICE.*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 28 representa gráficamente la variación de la gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm) en mezclas asfálticas que están compactadas y que resguardan diferentes porcentajes de cemento asfáltico. En el eje horizontal, se representan los diferentes porcentajes de asfalto utilizados en las mezclas (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%). En el eje vertical, se representa el valor de Gmm calculado para cada combinación de porcentajes de asfalto. La figura ilustra cómo cambia la Gmm a medida que varía el porcentaje de las mezclas asfálticas.

### 4.3. ESTABILIDAD DE LA MEZCLA

**Tabla 38**

*Estabilidad de la mezcla con asfalto.*

Especímen	Porcentaje de PET	Estabilidad			Estabilidad corregida (Kgf)	Promedio
		Lectura del micrómetro de estabilidad	Estabilidad d Kgf	Factor de corrección		
A1		-	1010.2	1.00	1010.20	
A2	4.5 %	-	1009.5	1.00	1009.50	1014.67
A3		-	1024.3	1.00	1024.30	
B1		-	1168.5	1.00	1168.50	1171.73
B2	5.0 %	-	1184.6	1.00	1184.60	
B3		-	1210.5	0.96	1162.08	
C1	5.5 %	-	1239.5	1.00	1239.50	1246.60
C2		-	1289.7	1.00	1289.70	
C3		-	1210.6	1.00	1210.60	
D1	6.0 %	-	1175.6	0.96	1128.58	1136.09
D2		-	1204.2	1.00	1204.20	
D3		-	1075.5	1.00	1075.50	
E1	6.5 %	-	1116.3	1.00	1116.30	1130.97
E2		-	1126.3	1.00	1126.30	
E3		-	1150.3	1.00	1150.30	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 38 presenta datos sobre la estabilidad de la mezcla con asfalto. Los especímenes se etiquetan como "A(1, 2, 3)", "B(1, 2, 3)", "C(1, 2, 3)", "D(1, 2, 3)" Y "E(1, 2, 3). Para cada espécimen, se proporcionan valores de porcentaje de asfalto (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% Y 6.5%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 1014.67, 1171.73, 1246.60, 1136.09 y 1130.97 de estabilidad para cada porcentaje de asfalto añadido.

**Figura 29**

*Estabilidad de la mezcla con asfalto.*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 29 ilustra un gráfico que exhibe la estabilidad de la mezcla asfáltica en diversos porcentajes. En el eje horizontal se encuentran los distintos porcentajes de asfalto, que son 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, y 6.5%. En el eje vertical, se representan los valores de carga en kilogramo-fuerza (Kgf). Cada punto en el gráfico representa una medición de estabilidad correspondiente a un espécimen específico en cada porcentaje de asfalto.

#### 4.4. FLUJO DE MEZCLA

**Tabla 39**

*Flujo de la mezcla con asfalto*

FLUJO		
Lectura del micrómetro de flujo	FLUJO	PROMEDIO
2.6	10.4	
2.5	10.0	10.5
2.8	11.0	
3.0	12.0	11.7
2.9	11.6	
2.9	11.4	
3.3	13.0	13.3

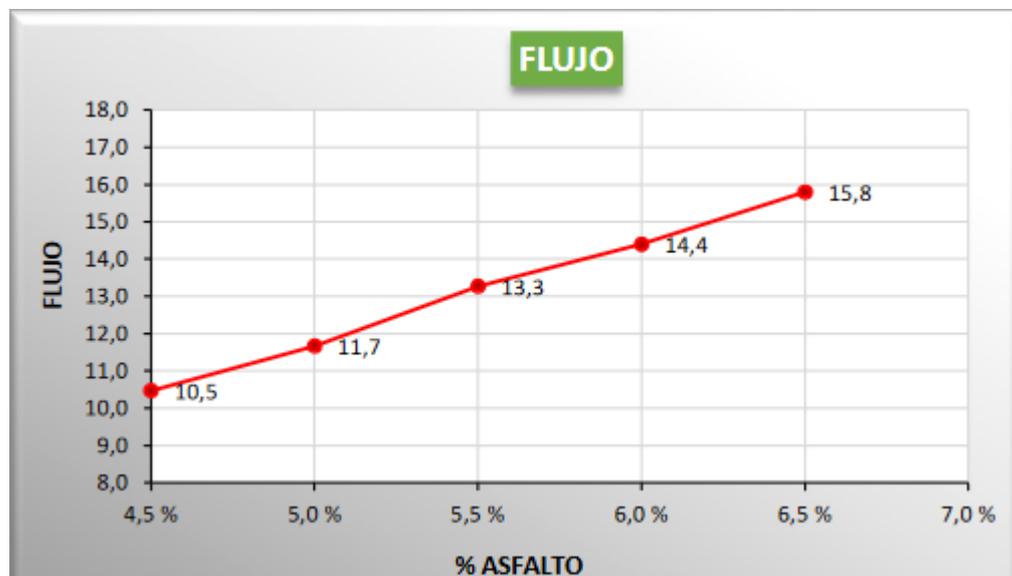
FLUJO		
Lectura del micrómetro de flujo	FLUJO	PROMEDIO
3.2	12.8	
3.5	14.0	
3.5	14.0	14.4
3.5	14.0	
3.8	15.2	
4.2	16.8	15.8
3.9	15.6	
3.8	15.0	

Nota: Autoría propia del autor

La Tabla 39 presenta datos sobre el flujo de la mezcla que contiene diferentes porcentajes de asfalto. Se proporcionan valores de la lectura del flujo de la mezcla asfáltica (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 10.5, 11.7, 13.3, 14.4 y 15.8 de flujo para cada porcentaje de asfalto añadido.

### Figura 30

*Flujo de la mezcla con asfalto*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 30 exhibe un gráfico que ilustra el flujo de la mezcla con variados porcentajes de asfalto. En el eje horizontal se encuentran los distintos porcentajes de asfalto, que son 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, y 6.5%. Mientras tanto, en el eje vertical, se



representan los valores de flujo. Cada punto en el gráfico refleja una medición del flujo correspondiente a un espécimen específico en cada porcentaje de asfalto.

#### 4.5. ESTABILIDAD DE LA MEZCLA

**Tabla 40**

*Estabilidad de la mezcla con PET*

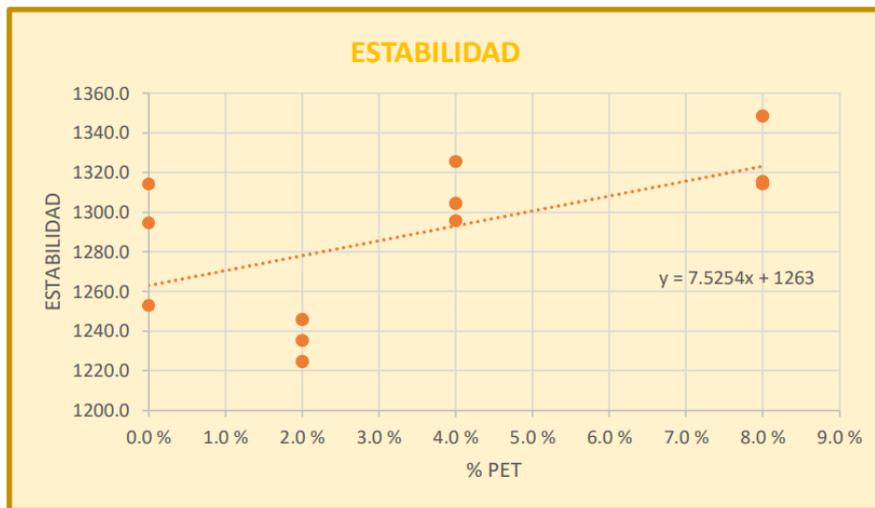
Estabilidad						
Espécimen	Porcentaje de PET	Lectura del micrómetro de estabilidad	Estabilidad Kg	Factor de corrección	Estabilidad corregida (Kgf)	Promedio
M1	0.0 %	-	1314.3	1.00	1314.30	1287.30
M2		-	1294.6	1.00	1294.60	
M3		-	1305.2	0.96	1252.99	
M1	2.0 %	-	1286.7	0.96	1235.23	1235.21
M2		-	1224.6	1.00	1224.60	
M3		-	1245.8	1.00	1245.80	
M1	4.0 %	-	1304.5	1.00	1304.50	1308.64
M2		-	1349.8	0.96	1295.81	
M3		-	1325.6	1.00	1325.60	
M1	8.0 %	-	1370.4	0.96	1315.58	1326.09
M2		-	1348.5	1.00	1348.50	
M3		-	1314.2	1.00	1314.20	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 40 presenta datos sobre la estabilidad de la mezcla que contiene diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). Los especímenes se etiquetan como "M1", "M2" y "M3". Para cada espécimen, se proporcionan valores de porcentaje de PET (0.0%, 2.0%, 4.0% y 8.0%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 1287.30, 1235.21, 1308.64 y 1326.09 de estabilidad para cada porcentaje de PET añadido.

**Figura 31**

*Estabilidad de la mezcla con PET*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 31 presenta un gráfico que exhibe la estabilidad de la mezcla con distintos porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). En el eje horizontal se encuentran los diversos porcentajes de PET, que comprenden 0.0%, 2.0%, 4.0%, y 8.0%. Simultáneamente, en el eje vertical, se representan los valores de estabilidad en Kgf (kilogramo-fuerza). Cada punto en el gráfico refleja una medición de estabilidad asociada a un espécimen específico en cada porcentaje de PET.

#### 4.6. FLUJO DE LA MEZCLA

**Tabla 41**

*Flujo de la mezcla con PET*

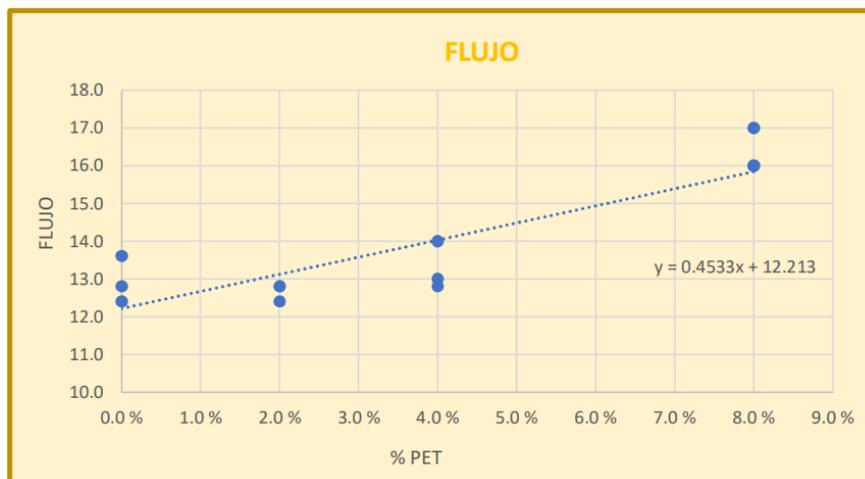
FLUJO		
LECTURA DEL MICRÓMETRO DE	FLUJO	PROMEDIO
FLUJO		
3.2	12.8	
3.4	13.6	12.9
3.1	12.4	
3.2	12.8	12.7
3.1	12.4	
3.2	12.8	
3.5	14.0	13.3
3.3	13.0	
3.2	12.8	
4.3	17.0	16.3
4.0	16.0	
4.0	16.0	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 41 presenta datos sobre el flujo de la mezcla que contiene diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). Se proporcionan valores de la lectura del flujo de la mezcla con PET (0.0%, 2.0%, 4.0% y 8.0%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 12.9, 12.7, 13.3 y 16.3 de flujo para cada porcentaje de PET añadido.

**Figura 32**

*Flujo de la mezcla con PET*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 32 presenta un gráfico que exhibe la estabilidad de la mezcla con distintos porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). En el eje horizontal se encuentran los diversos porcentajes de PET, que comprenden 0.0%, 2.0%, 4.0%, y 8.0%. Simultáneamente, en el eje vertical, se representan los valores de estabilidad en Kgf (kilogramo-fuerza). Cada punto en el gráfico refleja una medición de estabilidad asociada a un espécimen específico en cada porcentaje de PET.

**Tabla 42**

*Estabilidad de la mezcla con PET + SBS*

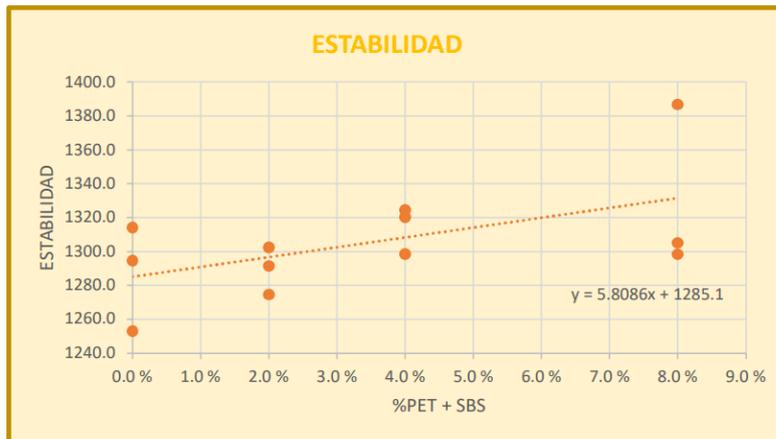
Espécimen	Porcentaje de PET Y SBS	Lectura del micrómetro de estabilidad	Estabilidad			Promedio
			Estabilidad d Kgf	Factor de corrección	Estabilidad corregida (Kgf)	
M1	0.0 %	-	1314.3	1.00	1314.30	1287.30
M2		-	1294.6	1.00	1294.60	
M3		-	1305.2	0.96	1252.99	
M1	1-1%	-	1274.6	1.00	1274.60	1289.53
M2		-	1302.5	1.00	1302.50	
M3		-	1291.5	1.00	1291.50	
M1	2-2%	-	1324.5	1.00	1324.50	1314.49
M2		-	1298.6	1.00	1298.60	
M3		-	1375.4	0.96	1320.38	
M1	4-4%	-	1352.6	0.96	1298.50	1330.20
M2		-	1386.9	1.00	1386.90	
M3		-	1305.2	1.00	1305.20	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 42 presenta datos sobre la estabilidad de la mezcla que contiene diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado) y SBS. Los especímenes se etiquetan como "M1", "M2" y "M3". Para cada espécimen, se proporcionan valores de porcentaje de PET (0%, 1% - 1%, 2% - 2% y 4% - 4%) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 1287.30, 1289.53, 1314.49 y 1330.20 de estabilidad para cada porcentaje de PET y SBS añadido.

**Figura 33**

*Estabilidad de la mezcla con PET + SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 33 presenta un gráfico que exhibe la estabilidad de la mezcla con distintos porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). En el eje horizontal se encuentran los diversos porcentajes de PET, que comprenden %, 2% - 2%, 4% - 4% y 8% - 8%. Simultáneamente, en el eje vertical, se representan los valores de estabilidad en Kgf (kilogramo-fuerza). Cada punto en el gráfico refleja una medición de estabilidad asociada a un espécimen específico en cada porcentaje de PET.

**Tabla 43**

*Flujo de la mezcla con PET + SBS*

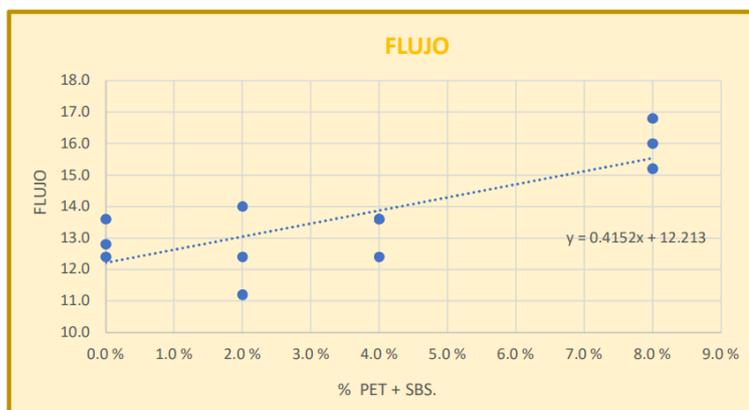
Flujo		
Lectura del micrómetro de flujo	Flujo	Promedio
3.2	12.8	12.9
3.4	13.6	
3.1	12.4	
2.8	11.2	12.5
3.5	14.0	
3.1	12.4	
3.4	13.6	13.2
3.4	13.6	
3.1	12.4	
4.0	16.0	16.0
4.2	16.8	
3.8	15.2	

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 43 presenta datos sobre el flujo de la mezcla que contiene diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado) y SBS. Se proporcionan valores de la lectura del flujo de la mezcla con PET y SBS (1% PET - 1%SBS, 2% PET - 2% SBS y 4% PET - 4%SBS) para cada conjunto de datos y se obtienen valores promedios de 12.9, 12.5, 13.2 y 16.0 de flujo para cada porcentaje de PET y SBS añadido.

### Figura 34

*Flujo de la mezcla con PET + SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 34 presenta un gráfico que exhibe el flujo de la mezcla con distintos porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado) y SBS. En el eje horizontal, se encuentran los variados porcentajes de PET y SBS, abarcando 1% PET – 1% SBS, 2% PET – 2% SBS y 4% PET – 4% SBS. Simultáneamente, en el eje vertical, se representan los valores del flujo. Cada punto en el gráfico refleja una medición del flujo asociada a un espécimen específico en cada porcentaje de PET y SBS.

#### 4.7. MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL OPTIMO CON 5.3% DE C.A

**Tabla 44**

*Vacíos de aire de la mezcla asfáltica convencional.*

Mezcla asfáltica convencional	% PET-SBS	Gravedad específica Neta del Agregado	Gravedad específica efectiva del agregado	Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	Porcentaje de Vacíos de Aire	
	Ppol.	Gsb	Gse	Gmm	Gmb	Va	
	0.00 %	2.514	2.565	2.376	2.291		3.56 %

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 44 proporciona una visión detallada de varias propiedades esenciales de una mezcla asfáltica convencional, enfocándose específicamente en el escenario donde no se ha agregado ningún porcentaje de PET-SBS (0%). Donde el valor registrado para el porcentaje de vacíos de aire es de 3,56%, lo que significa que, en la mezcla compactada, aproximadamente el 3,56% del volumen total está ocupado por aire.

**Tabla 45**

*Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica convencional*

Mezcla asfáltica convencional	% PET-SBS	Porcentaje de vacíos de agregado mineral:	porcentaje de vacíos llenados con asfalto:	Absorción del asfalto:	Contenido de asfalto efectivo:	Marshall	
	Ppol.	VMA	VFA	Pba	Pbe	Flujo	Estabilidad
	0.00 %	13.69 %	74.02 %	0.81 %	4.53 %	12.93	1287.30

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 45 proporciona un análisis exhaustivo de la estabilidad y el flujo de una mezcla asfáltica convencional, donde se considera un porcentaje de 0,00% de adición de PET-SBS. Los resultados muestran un valor de 12.93 para el flujo y 1287.30 para la estabilidad, obtenidos mediante el método Marshall.

#### 4.8. MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON PET

**Tabla 46**

*Vacíos de aire de la mezcla asfáltica con PET*

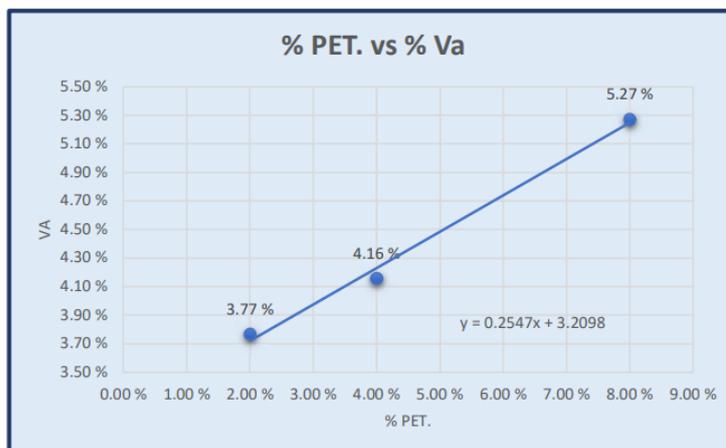
Mezcla asfáltica modificada con PET	% PET	Gravedad específica neta del Agregado	Gravedad específica efectiva del agregado	Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	Porcentaje de Vacíos de Aire
	Ppol.	Gsb	Gse	Gmm	Gmb	Va
	2.00 %	2.512	2.567	2.378	2.288	3.77 %
	4.00 %	2.510	2.570	2.380	2.281	4.16 %
	8.00 %	2.505	2.573	2.383	2.257	5.27 %

Nota: Material propio de la tesis.

En la Tabla 46 se evalúa tres casos de porcentaje de PET añadido: 2,00%, 4,00% y 8,00%. Los valores del % de vacíos de aire obtenidos son de 3.77% para una adición de 2%, 4.16% para una adición del 4% y 5.27% para adición del 8%.

**Figura 35**

*Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica con PET*



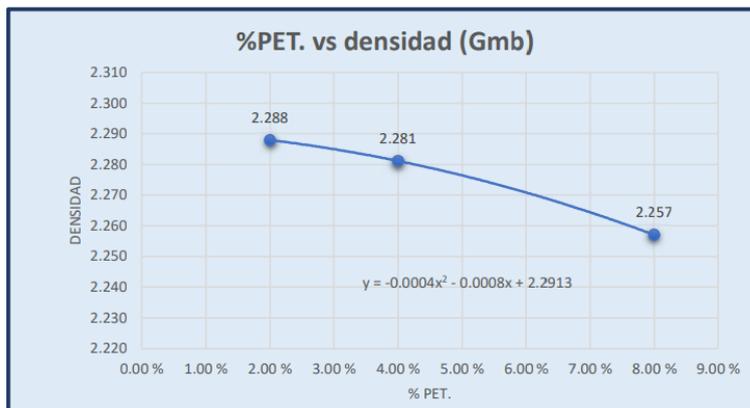
Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 35 presenta de manera gráfica la variación del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica al modificarla con distintos porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). En el eje horizontal se representan los porcentajes de PET, con valores de 2.00%, 4.00% y 8.00%. En el eje vertical se muestra el porcentaje de vacíos

de aire en la mezcla asfáltica compactada. Este gráfico proporciona una visualización clara de cómo cambia el contenido de vacíos en relación con la cantidad de PET incorporado en la mezcla.

**Figura 36**

*Densidad de la mezcla asfáltica con PET*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 36 muestra la densidad de la mezcla asfáltica cuando se modifica con diferentes porcentajes de PET (tereftalato de polietileno reciclado). En el eje horizontal se encuentran los porcentajes de PET, con los valores de 2,00%, 4,00% y 8,00%. En el eje vertical, se representa la densidad de la mezcla asfáltica compactada. La figura permite observar cómo varía la densidad de la mezcla a medida que se aumenta el porcentaje de PET.

**Tabla 47**

*Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica con PET*

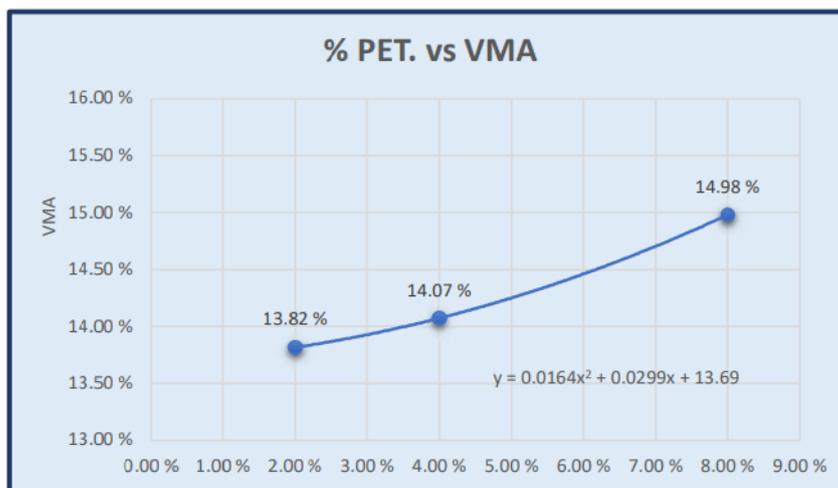
Mezcla asfáltica modificada con Asfalto	% Asfalto	Porcentaje de vacíos de agregado mineral	porcentaje de vacíos llenados con asfalto	Absorci ón del asfalto	Contenid o de asfalto efectivo	Marshall	
	Ppol.	VMA	VFA	Pba	Pbe	Flujo	Estabilida d
	2.00 %	13.82 %	72.74 %	0.88 %	4.47 %	12.67	1235.21
	4.00 %	14.07 %	70.45 %	0.96 %	4.39 %	13.27	1308.64
	8.00 %	14.98 %	64.81 %	1.09 %	4.27 %	16.33	1326.09

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 47 presenta una evaluación detallada de la estabilidad y el flujo de una mezcla asfáltica modificada con distintos % de asfalto. Para la mezcla con valores un 2,00 % de asfalto el flujo es de 12,67 y la estabilidad (Marshall) es de 1235 ,21. Para el porcentaje de asfalto del 4,00 % el flujo es de 13,27 y la estabilidad es de 1308,64. Por último, para el 8,00 % de asfalto el flujo es de 16, 33 y la estabilidad es de 1326,09.

**Figura 37**

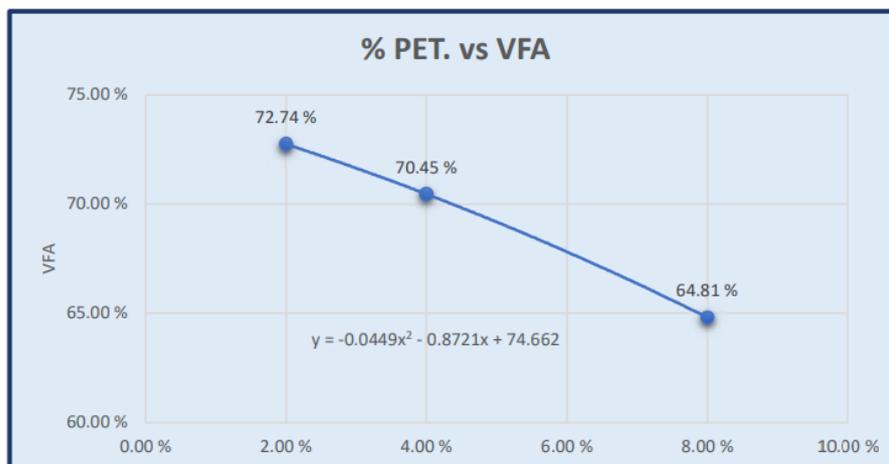
*Porcentaje de vacíos de agregado mineral*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 38**

*Porcentaje de vacíos llenados con asfalto*

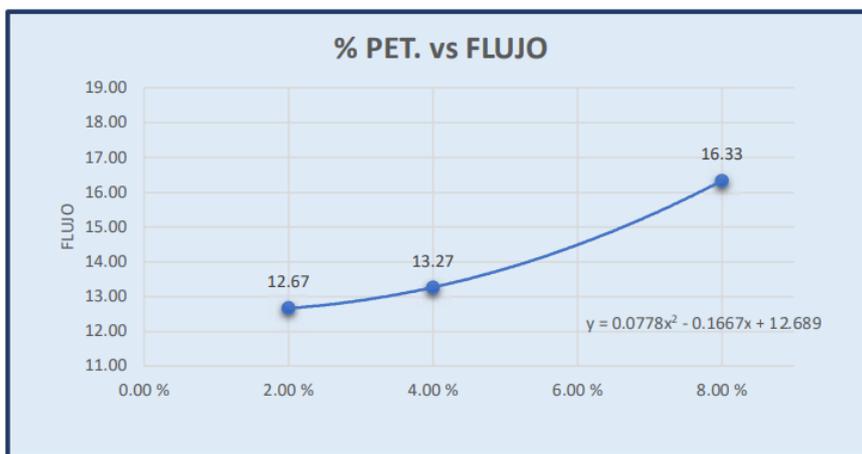


Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 37 y la Figura 38 presentan gráficamente el porcentaje de vacíos en el agregado mineral y el porcentaje de vacíos llenados con asfalto, respectivamente. En el eje horizontal se encuentran los porcentajes de PET, con valores de 2.00%, 4.00% y 8.00%. En el eje vertical, se representa el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica compactada. Estas figuras permiten observar cómo varía el porcentaje de vacíos en relación con la cantidad de PET incorporado en la mezcla.

### Figura 39

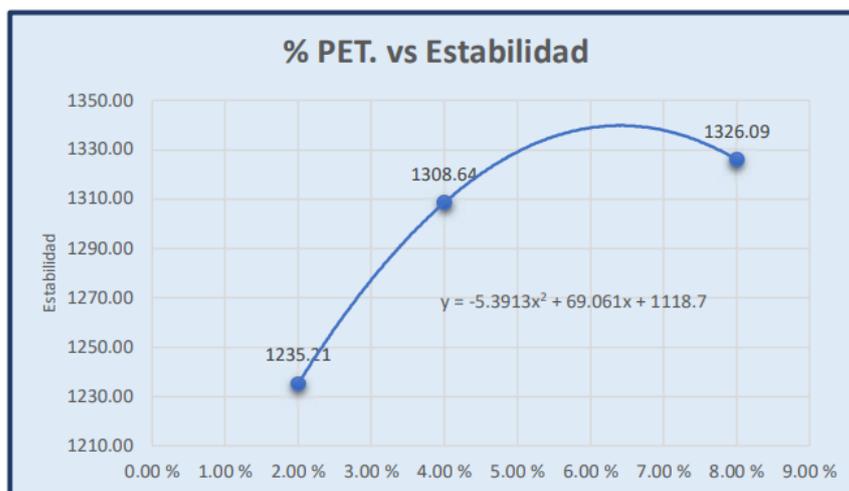
*Flujo de la mezcla asfáltica con PET*



Nota: Material propio de la tesis.

### Figura 40

*Estabilidad de la mezcla asfáltica con PET*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 39 y la Figura 40 presentan gráficos que muestran el flujo y la estabilidad de la mezcla con diferentes porcentajes de PET añadido. En el eje horizontal se encuentran los diferentes porcentajes de PET, que son 0%, 2% - 2%, 4% - 4% y 8% - 8%; y en el eje vertical, se representan los valores del flujo y la estabilidad, respectivamente. Cada punto en el gráfico representa una medición del flujo y la estabilidad para un espécimen específico en cada porcentaje de PET añadido.

#### 4.9. MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON PET - SBS

**Tabla 48**

*Vacios de aire de la mezcla asfáltica con PET + SBS*

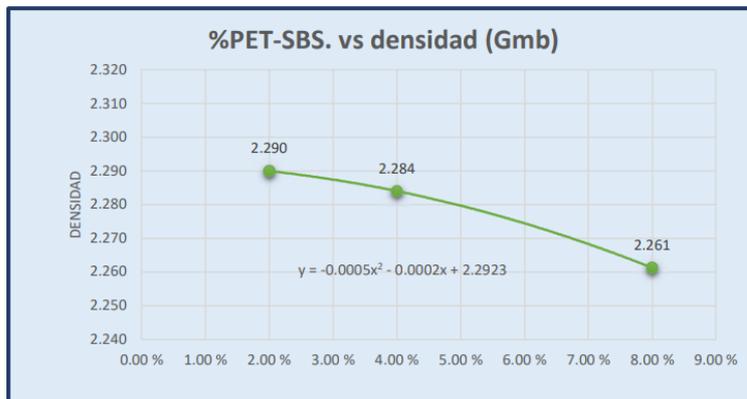
Mezcla asfáltica modificada con PET - SBS	% PET - SBS	Gravedad específica Neta del Agregado	Gravedad específica efectiva del agregado	Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	Porcentaj e de Vacíos de Aire
	Ppol.	Gsb	Gse	Gmm	Gmb	Va
	2.00 %	2.511	2.569	2.379	2.290	3.75 %
	4.00 %	2.509	2.573	2.382	2.284	4.12 %
	8.00 %	2.503	2.575	2.384	2.261	5.15 %

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 48 ofrece información detallada sobre los vacíos de aire de una mezcla asfáltica modificada con PET-SBS. Los diferentes porcentajes de PET-SBS son evaluados para comprender cómo surgen las propiedades de la mezcla. Para una mezcla con un 2,00 % de PET-SBS, se observa un porcentaje de vacíos de aire (Va) de 3,75 %. A medida que aumenta el porcentaje de PET-SBS al 4,00 %, él Va aumenta a 4,12 %. Finalmente, con un 8,00 % de PET-SBS, se registra el porcentaje más alto de vacíos de aire en la mezcla, alcanzando un valor de 5,15 %.

### Figura 41

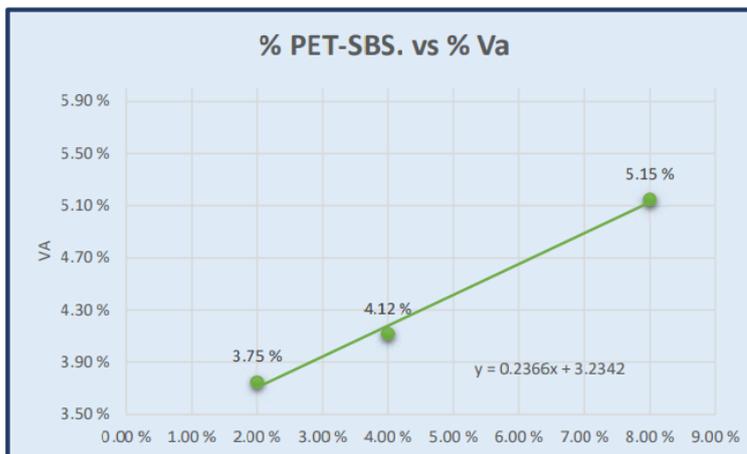
*Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada*



Nota: Material propio de la tesis.

### Figura 42

*Porcentaje de Vacíos de Aire de la mezcla asfáltica*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 41 y figura 42 muestra la "Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada", lo que permite visualizar cómo cambia la densidad de la mezcla después de la compactación. Por otro lado, la Figura 33 representa el "Porcentaje de Vacíos de Aire" en la mezcla asfáltica, un dato relevante para comprender la porosidad y la resistencia del pavimento, ya que los vacíos de aire debilitan la durabilidad y la capacidad de soporte de la mezcla.

**Tabla 49**

*Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica con PET +SBS*

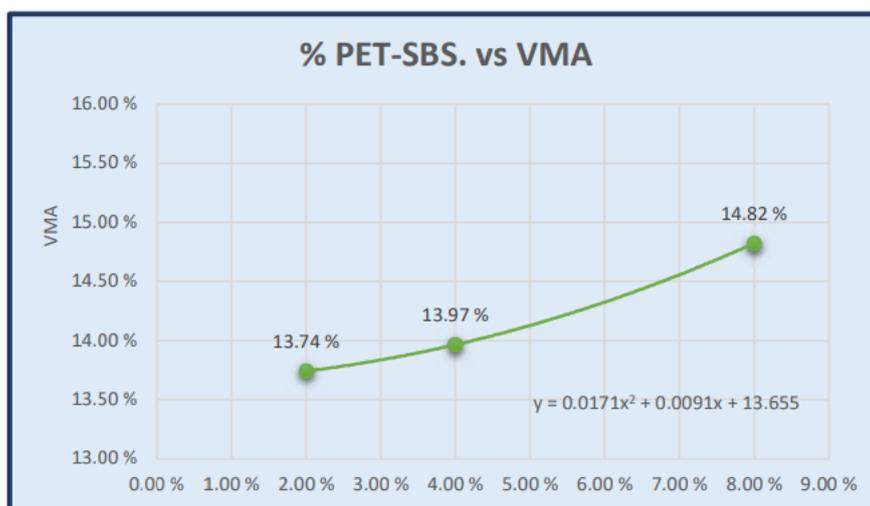
Mezcla asfáltica modificada con PET - SBS	% Asfalto	Porcentaje de vacíos de agregado mineral	Porcentaje de vacíos llenados con asfalto	Absorción del asfalto	Contenido de asfalto efectivo	Marshall	
	Ppol.	VMA	VFA	Pba	Pbe	Flujo	Estabilidad
	2.00 %	13.74 %	72.72 %	0.91 %	4.43 %	12.53	1289.53
	4.00 %	13.97 %	70.50 %	1.01 %	4.34 %	13.20	1314.49
	8.00 %	14.82 %	65.27 %	1.14 %	4.22 %	16.00	1330.20

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 49 ofrece información detallada sobre la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica modificada con PET-SBS. Los diferentes porcentajes de PET-SBS son analizados para comprender cómo surgen las propiedades de la mezcla. Para una mezcla con un 2,00 % de PET-SBS, se observa un flujo de 12.53 y una estabilidad de 1289.53. A medida que aumenta el porcentaje de PET-SBS al 4,00 %, él flujo aumenta a 13.20 y la estabilidad a 1314.49. Finalmente, con un 8,00 % de PET-SBS, se registra un flujo de 16.00 y una estabilidad de 1330.20.

**Figura 43**

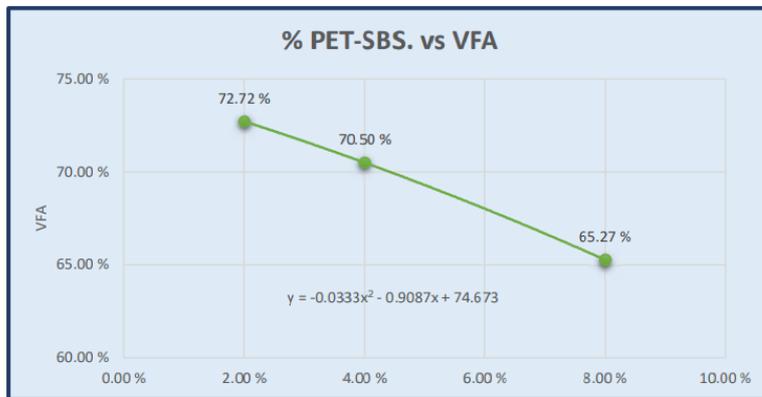
*Porcentaje de vacíos de agregado mineral*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 44**

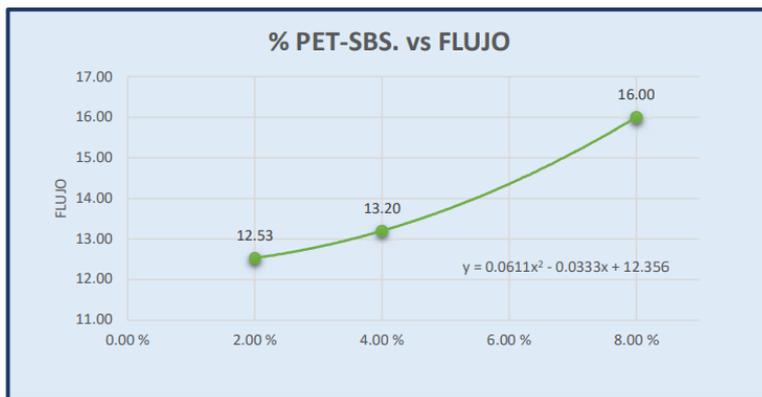
*Porcentaje de vacíos llenados con asfalto*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 45**

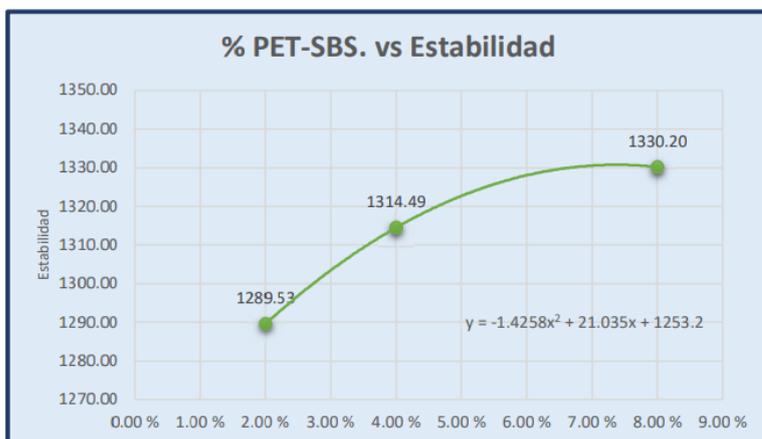
*Flujo de la mezcla asfáltica con PET +SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 46**

*Estabilidad de la mezcla asfáltica con PET +SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

#### 4.10. SELECCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA CON PET

**Tabla 50**

*Diseño de mezcla con PET*

Diseño de combinación de agregados				
Agregado	% Peso			
Filler	5.00%			
Agregado grueso	38.00%			
Arena Natural	20.00%			
Arena Chancada	37.00%			
Cemento asfáltico				
Optimo contenido de asfalto	5.3%			
Peso específico de asfalto (gr/cm <sup>3</sup> )	1.025			
Tipo de asfalto	PEN 120-150			
Tereftalato de Polietileno				
Contenido Optimo de PET	4.5%			
Peso específico	1.39			
Características físicas	Diseño			
Porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA)	69.83%			
Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)	14.16%			
Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada (Gmb) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.280			
Porcentaje de vacíos (Va)	4.36			
Porcentaje de asfalto	5.30%			
Estabilidad mínima (Kg)	1320.3			
Flujo, 0.25mm (1/100")	13.51			
Estabilidad/flujo	3907.86			
Porcentaje de cemento asfáltico	5.30%			
% De Tereftalato de polietileno	4.5%			
# golpes de compactación a cada espécimen	75			
Temperatura de compactación	150			
Temperatura de mezcla °C	120			
Verificación de los criterios de mezclas	Parámetros de diseño		Resultados	Condición
Porcentaje de cemento Asfáltico	5.30 %		5.30 %	CUMPLE
Porcentaje de PET	4.50 %		4.50 %	CUMPLE
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	75		75	CUMPLE
estabilidad mínima (kg)	800		1320.30	CUMPLE
Flujo, 0.25mm (1/100")	MIN	MAX	13.51	CUMPLE
	8	14		
porcentaje de vacíos (Va)	MIN	MAX	4.36	CUMPLE
	3	5		
porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (VFA)	MIN	MAX	69.83	CUMPLE
	65	75		
porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA)	tabla de mínimo	Valor	14.16 %	CUMPLE
	VMA	Mín.		
		14		
Estabilidad/Flujo	MIN	MAX	3907.86	CUMPLE
	1700	4000		

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 50 y las Figuras 43, 44, 45 y 46 resumen el diseño de una mezcla asfáltica que incorpora tereftalato de polietileno reciclado (PET) como modificador. Tanto el porcentaje de cemento asfáltico como el porcentaje de PET en la mezcla cumplen con las especificaciones establecidas. Se aplican 75 golpes de compactación en cada espécimen, satisfaciendo este criterio de diseño. La estabilidad mínima requerida se fija en 800 kg, y los resultados indican que esta mezcla supera este valor con 1320,30 kg, confirmando su conformidad con el criterio. El flujo a 0.25 mm se encuentra dentro del rango permitido, al igual que el porcentaje de vacíos, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto y el porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA). Además, el índice Estabilidad/Flujo se sitúa dentro de los rangos especificados. En resumen, la tabla muestra que la mezcla diseñada cumple con los criterios de diseño establecidos para soportar tráfico pesado.

#### 4.11. CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO ÓPTIMO CON PET

**Tabla 51**

*Diseño de mezcla optimo con PET*

Descripción	Abrev.	Resultados
Porcentaje de PET	<b>PET</b>	4.50 %
Porcentaje de Vacíos	<b>Va</b>	4.36
Gravedad	<b>Gmb</b>	2.280
Porcentaje de vacíos de agregado mineral	<b>VMA</b>	14.16 %
porcentaje de vacíos llenados con asfalto	<b>VFA</b>	69.83 %
<b>Estabilidad</b>		1320.3
<b>Flujo</b>		13.51
Estabilidad/Flujo (Kg/Cm)		3907.86

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 51 presenta el diseño óptimo de una mezcla asfáltica que incorpora tereftalato de polietileno reciclado (PET). El porcentaje de PET utilizado en la mezcla es del 4,50%, reflejando su proporción en relación con otros componentes. El porcentaje de vacíos (Va) se establece en un 4.36, siendo crucial para la compacidad de la mezcla. La



gravedad específica de la mezcla compactada ( $G_{mb}$ ) es de 2.280. El porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) se sitúa en un nivel del 14,16%, y el porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) alcanza el 69,83%, indicando cómo se ocupa el espacio con el asfalto. La estabilidad de la mezcla se cuantifica en 1320.3, y el flujo, que mide la capacidad de la mezcla para deformarse, es de 13.51. El índice Estabilidad/Flujo (3907.86 kg/cm) refleja la relación entre la estabilidad y el flujo, proporcionando un indicador significativo del rendimiento de la mezcla.

## 4.12. SELECCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA CON PET Y SBS

**Tabla 52**

*Diseño de mezcla con PET + SBS*

Diseño de combinación de agregados				
Agregado	% Peso			
Filler	5.00%			
Agregado grueso	38.00%			
Arena Natural	20.00%			
Arena Chancada	37.00%			
Cemento asfáltico				
Optimo contenido de asfalto	5.3%			
Peso específico de asfalto (gr/cm <sup>3</sup> )	1.025			
Tipo de asfalto	PEN 120-150			
Tereftalato de Polietileno-SBS				
Contenido Optimo de PET + SBS	4.5%			
Peso específico de PET	1.39			
Peso específico del SBS	1.210			
Características físicas		Diseño		
Porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA)	69.91%			
Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)	14.04%			
Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada (Gmb) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.281			
Porcentaje de vacíos (Va)	4.30			
Porcentaje de asfalto	5.30%			
Estabilidad mínima (Kg)	1319			
Flujo, 0.25mm (1/100")	13.44			
Estabilidad/flujo	3924.55			
Porcentaje de cemento asfáltico	5.30%			
% De Tereftalato de polietileno + SBS	4.5%			
# golpes de compactación a cada espécimen	75			
Temperatura de compactación	150			
Temperatura de mezcla °C	120			
Verificación de los criterios de mezclas	Parámetros de diseño		Resultados	Condición
Porcentaje de cemento Asfáltico	5.30 %		5.30 %	<b>CUMPLE</b>
Porcentaje de PET + SBS	4.50 %		4.50 %	<b>CUMPLE</b>
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	75		75	<b>CUMPLE</b>
estabilidad mínima (kg)	800		1318.99	<b>CUMPLE</b>
Flujo, 0.25mm (1/100")	MIN	MAX	13.44	<b>CUMPLE</b>
porcentaje de vacíos (Va)	8	14		
porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (VFA)	MIN	MAX	4.30	<b>CUMPLE</b>
porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA)	3	5		
Estabilidad/Flujo	MIN	MAX	69.91	<b>CUMPLE</b>
	65	75		
	tabla	de	Valor Mín.	<b>CUMPLE</b>
	mínimo VMA	14	14.04 %	
	MIN	MAX	3924.55	<b>CUMPLE</b>
	1700	4000		

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 52 detalla el diseño de una mezcla asfáltica modificada mediante una combinación de tereftalato de polietileno reciclado (PET) y estireno butadieno estireno (SBS), específicamente formulada para resistir condiciones de tráfico pesado. Se verifica el cumplimiento de varios parámetros de diseño cruciales para asegurar la calidad y durabilidad de la mezcla. Los resultados indican que se logran los porcentajes previstos de cemento asfáltico (5,30%) y de PET + SBS (4,50%). La compactación se ejecuta con el número especificado de golpes (75). La estabilidad mínima obtenida es satisfactoria (1318,99 kg), cumpliendo el requisito mínimo de 800 kg. Además, el flujo a 0,25 mm (13,44) se encuentra dentro del rango permitido (entre 8 y 14). Los porcentajes de vacío (Va), vacíos rellenos de asfalto (VFA) y vacíos del agregado mineral (VMA) cumplen con las condiciones establecidas. En particular, el porcentaje de VMA es del 14,04%, superando el valor mínimo requerido. El índice Estabilidad/Flujo es de 3924.55, cumpliendo con el rango establecido (entre 1700 y 4000). Esta tabla confirma que la mezcla asfáltica diseñada con PET + SBS es adecuada para soportar cargas de tráfico pesado y cumple con los criterios de calidad establecidos.

#### 4.13. CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO ÓPTIMO CON PET +SBS

**Tabla 53**

*Diseño de mezcla óptimo con PET + SBS*

<b>Descripción</b>	<b>Abrev.</b>	<b>Resultados</b>
Porcentaje de PET + SBS	<b>F.A.</b>	4.50 %
Porcentaje de Vacíos	<b>Va</b>	4.30
Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	<b>Gmb</b>	2.281
Porcentaje de vacíos de agregado mineral	<b>VMA</b>	14.04 %
porcentaje de vacíos llenados con asfalto	<b>VFA</b>	69.91 %
<b>Estabilidad</b>		1319.0
<b>Flujo</b>		13.44
Estabilidad/flujo (kg/cm)		3924.55

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 53 presenta el diseño óptimo de una mezcla asfáltica modificada mediante una combinación de tereftalato de polietileno reciclado (PET) y estireno butadieno estireno (SBS). El porcentaje de PET + SBS en la mezcla alcanza el 4,50%, cumpliendo con el requisito establecido. El porcentaje de vacíos (Va) se mantiene en un 4,30%, y la gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada (Gmb) se registra en 2.281. El porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA) supera el mínimo requerido con un valor del 14,04%. El porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) alcanza el 69,91%, también cumpliendo con la condición establecida. La estabilidad de la mezcla es de 1319,0 kg, satisfaciendo el requisito mínimo, mientras que el flujo obtenido es de 13.44, dentro del rango aceptable. Además, el índice de Estabilidad/Flujo es de 3924.55, cumpliendo con el rango establecido.

**Tabla 54**

*Cuadro comparativo mezcla asfáltica convencional y modificada*

% C.A.	%PET Y PET-SBS	Gravedad específica Neta del Agregado			Gravedad específica efectiva del agregado:			Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica		
		Gsb			Gse			Gmm		
		Conv.	PET	PET-SBS	Conv.	PET	PET-SBS	Conv.	PET	PET-SBS
5.30%	2%	2.514	2.512	5.511	2.565	2.567	2.569	2.376	2.378	2.379
	4%		2.51	2.509		2.57	2.573		2.38	2.382
	8%		2.505	2.503		2.573	2.575		2.383	2.384

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 54 proporciona un cuadro comparativo entre una mezcla asfáltica convencional y mezclas asfálticas modificadas con porcentajes de tereftalato de polietileno (PET) y SBS en diferentes proporciones. Para un porcentaje de cemento asfáltico del 5,30%, la mezcla modificada con un 2% de PET tiene valores ligeramente más bajos en Gsb, Gse y Gmm en comparación con la mezcla convencional. De manera similar, para un 4% y 8% de PET, la mezcla modificó los valores ligeramente más bajos

en Gsb y Gse, mientras que el valor de Gmm es comparable a la mezcla convencional. Esta tabla permite comparar cómo varían las propiedades de la mezcla asfáltica en función del porcentaje de PET y PET-SBS, dependiendo de la información relevante sobre las diferencias entre las mezclas convencionales y modificadas en términos de gravedad específica del agregado.

**Tabla 55**

*Comparación de mezcla asfáltica convencional y modificada*

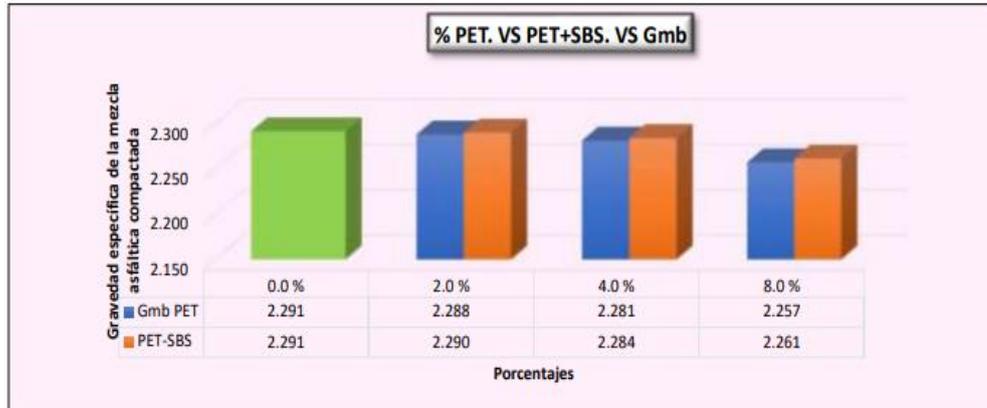
% C.A.	%PET Y PET-SBS	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada: Gmb			Porcentajes de Vacíos de Aire: Va		
		Conv.	PET	PET-SBS	Conv.	PET	PET-SBS
		5.30%	2%	2.291	2.288	2.29	3.56%
	4%		2.281	2.284		4.16%	4.12%
	8%		2.257	2.261		5.27%	5.15%

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 55 presenta una comparación entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla modificada con diferentes porcentajes de tereftalato de polietileno (PET) y estireno-butadieno-estireno (SBS). Para un porcentaje de cemento asfáltico del 5,30%, se evidencia que la mezcla modificada con un 2% de PET y PET-SBS muestra valores ligeramente más bajos en Gmb en comparación con la mezcla convencional, indicando una mayor compactación. En relación con el porcentaje de vacíos de aire (Va), la mezcla modificada también exhibe valores ligeramente más altos para ambos porcentajes de PET y PET-SBS, lo que podría afectar la densidad y las características de la mezcla. De manera similar, para porcentajes de PET del 4% y 8%, se observa un comportamiento análogo con ligeras variaciones en Gmb y Va entre la mezcla convencional y modificada.

**Figura 47**

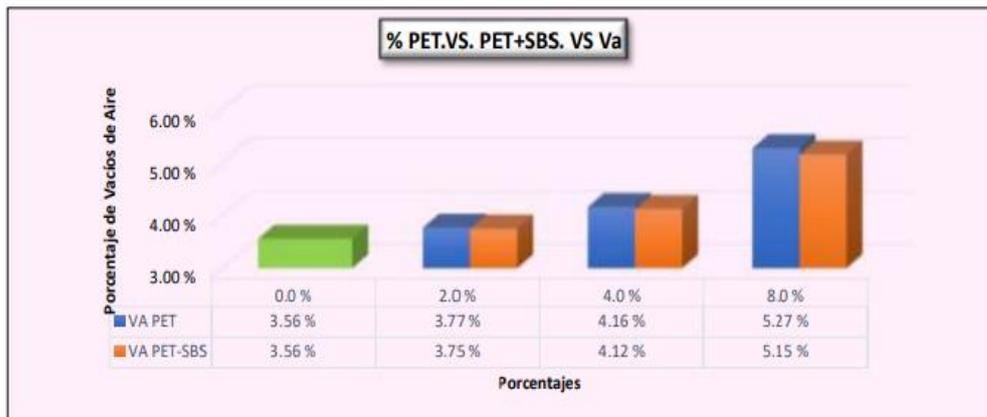
*Gravedad específica de la mezcla asfáltica convencional y modificada %PET y PET+SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 48**

*Vacios de aire de la mezcla asfáltica convencional y modificada %PET y PET+SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 47 y Figura 48 muestran las variaciones en la gravedad específica de las mezclas asfálticas, comparando las versiones convencionales con las modificadas utilizando porcentajes de PET y PET+SBS en proporciones de 2%, 4%, y 8%. Por otro lado, la Figura 39 ilustra las diferencias en los porcentajes de vacíos de aire entre las mezclas asfálticas convencionales y las modificadas con PET y PET+SBS en proporciones de 2%, 4%, y 8%. Ambas figuras ofrecen información crucial sobre las

propiedades y características de las mezclas asfálticas estudiadas en relación con la incorporación de PET y PET+SBS.

**Tabla 56**

*Comparación de porcentajes de vacíos de mezcla asfáltica convencional y modificada*

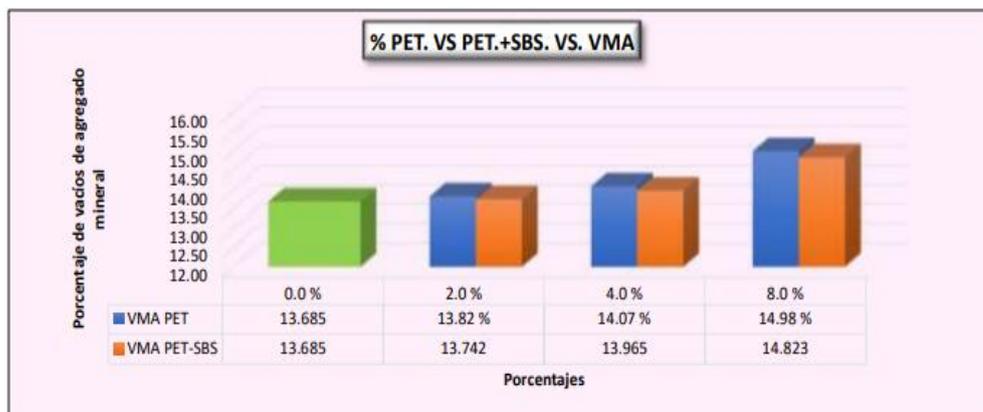
% C.A.	% PET Y PET-SBS	Porcentaje de vacíos de agregado mineral:			Porcentaje de vacíos llenados con asfalto:			Absorción del asfalto:			Contenido de asfalto efectivo:		
		VMA			VFA			Pba			Pbe		
		Conv.	PET	PET- SBS	Conv.	PET	PET- SBS	Conv.	PET	PET- SBS	Conv.	PET	PET- SBS
5.30 %	2 %	13.685	13.82	13.74	74.021	72.74	72.72	0.810	0.88	0.91	4.53	4.47	4.43
	4 %		14.07	13.97		70.45	70.50		0.96	1.01	3	4.39	4.34
	8 %		14.98	14.82		64.81	65.27		1.09	1.14		4.27	4.22

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 56 compara los porcentajes de vacíos del agregado mineral y del llenado con asfalto, la absorción del asfalto y el contenido de asfalto efectivo para un asfalto convencional, un asfalto con únicamente adición de PET y un asfalto con adición de PET y SBS. Se puede apreciar que cada adición de PET y PET + SBS puede influir positivamente en el porcentaje de vacíos del agregado mineral, el porcentaje de vacíos llenados con asfalto y en la absorción del asfalto, todo ello respecto al convencional.

**Figura 49**

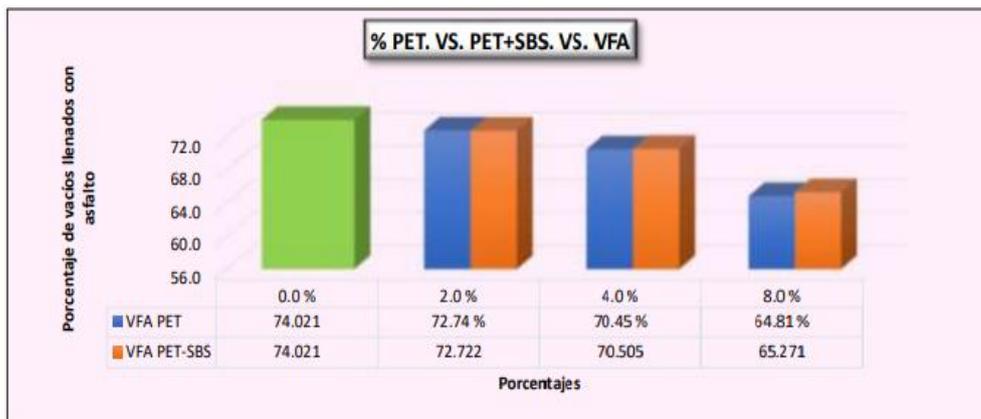
*Porcentaje de vacíos de agregado mineral*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 50**

*Porcentaje de vacíos llenados con asfalto*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 49 y figura 50 muestra una comparación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral, un parámetro crítico que influye en la compacidad de la mezcla. Por otro lado, la Figura 41 muestra una comparación del porcentaje de vacíos llenados con asfalto, lo que está directamente relacionado con la capacidad de adherencia y la calidad del enlace entre el asfalto y el agregado. Para ambos casos los porcentajes de adición son del 2%, 4% y 8%.

**Tabla 57**

*Comparación de estabilidad y flujo de mezcla asfáltica convencional y modificada*

% C.A.	% PET Y PET-SBS	FLUJO			ESTABILIDAD		
		Conv.	PET	PET-SBS	Conv.	PET	PET-SBS
<b>5.30 %</b>	<b>2 %</b>		12.67	12.53		1235.21	1289.53
	<b>4 %</b>	<b>12.9</b>	13.27	13.20	<b>1287.30</b>	1308.64	1314.49
	<b>8 %</b>		16.33	16.00		1326.09	1330.20

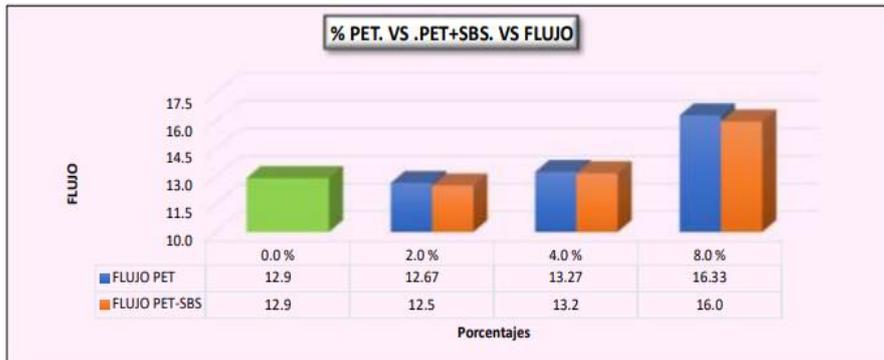
Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 57 compara los parámetros de estabilidad y flujo entre la mezcla asfáltica convencional y la modificada, variando los porcentajes de PET y PET-SBS en el agregado asfáltico. Los valores numéricos reflejan la resistencia y la capacidad de deformación de las mezclas bajo diferentes condiciones de adición (2%, 4% y 8%). Para los porcentajes

específicos de PET y PET-SBS, se registran los valores de flujo, que indican la capacidad de la mezcla para fluir bajo carga, y los valores de estabilidad, que indican la resistencia a la deformación.

**Figura 51**

*Flujo de la mezcla asfáltica con PER y PET + SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 52**

*Estabilidad de la mezcla asfáltica con PER y PET + SBS*



Nota: Material propio de la tesis.

Las Figuras 51 y 52 representan el flujo y la estabilidad de la mezcla asfáltica con la incorporación de PER y PET + SBS. La Figura 30 muestra cómo varía el flujo de la mezcla asfáltica al añadir PER y PET + SBS, lo que es relevante para entender cómo estas adiciones impactan en la capacidad de la mezcla para fluir bajo carga. Por otro lado, la Figura 31 ilustra la estabilidad de la mezcla, lo que es fundamental para determinar su resistencia a la deformación.

## Cuadro de resumen de las mezclas asfálticas convencional y modificada – óptimo

**Tabla 58***Resumen de porcentajes óptimos*

<b>Porcentaje de cemento asfáltico</b>	<b>5.30 %</b>
Porcentaje de pet	<b>4.50 %</b>
Porcentaje de pet + sbs	<b>4.50 %</b>

Nota: Material propio de la tesis.

**Tabla 59***Porcentajes óptimos de gravedad específica y vacíos de aire*

<b>Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada</b>			<b>Porcentaje de vacíos de aire</b>		
<b>Gmb</b>			<b>Va</b>		
<b>Mezcla asfáltica en caliente</b>			<b>Mezcla asfáltica en caliente</b>		
Conv.	PET	PET-SBS	Conv.	PET	PET-SBS
2.291	2.280	2.281	3.56 %	4.36 %	4.30 %

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 58 y 59 presenta los porcentajes óptimos de gravedad específica (Gmb) y porcentaje de vacíos de aire (Va). Se comparan las mezclas convencionales con aquellas modificadas utilizando PER y PET + SBS. Donde se aprecia que para la gravedad específica la mezcla convencional toma mayor valor (2.291) respecto a las mezclas con PET (2.280) y PET+SBS (2.281). En cuanto al porcentaje de vacíos la mezcla convencional obtuvo 3.56% mientras que la mezcla con PET obtuvo 4.36% y la mezcla con PET+SBS obtuvo 4.30%; lo que refleja que la mezcla convencional tiene más cantidad de vacíos.

**Figura 53**

*Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 54**

*Porcentaje de vacíos de aire*



Nota: Material propio de la tesis.

La Figura 53 y 54 muestra la gravedad específica de las mezclas, un factor esencial para comprender su densidad y calidad, y se puede apreciar que la mezcla convencional (2.291) es mayor en comparación con las demás mezclas (PET=2.280 y PET+SBS=2.281). Mientras tanto, la Figura 45 presenta el porcentaje de vacíos de aire, una medida crucial de la capacidad de las mezclas para retener aire, lo que puede influir en su resistencia y durabilidad, lo cual muestra que la mezcla convencional (3.56%) se ve superada por las mezclas con PET (4.36%) y PET+SBS (4.30%).

**Tabla 60**

*Porcentajes óptimos de vacíos de agregado y vacíos llenados con asfalto*

Porcentaje de vacíos de agregado mineral V <sub>ma</sub>			Porcentaje de vacíos llenados con asfalto V <sub>fa</sub>		
Mezcla asfáltica en caliente			Mezcla asfáltica en caliente		
Conv.	PET	PET-SBS	Conv.	PET	PET-SBS
13.69 %	14.16 %	14.04 %	74.02 %	69.83 %	69.83 %

Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 60 presenta los porcentajes de vacíos del agregado mineral (V<sub>ma</sub>) y el porcentaje de vacíos llenados con asfalto (V<sub>fa</sub>), comparando las mezclas convencionales con aquellas modificadas utilizando PER y PET + SBS. Se observa que para el porcentaje de vacíos del agregado mineral, la mezcla convencional tiene un valor de 13.69%, mientras que las mezclas con PET obtienen un valor de 14.16%, y para PET+SBS se obtiene 14.04%, demostrando que la mezcla con PET tiene una mayor cantidad de vacíos en el agregado mineral. En cuanto al porcentaje de vacíos llenados con asfalto, la mezcla convencional obtuvo un 74.02%, mientras que la mezcla con PET obtuvo un 69.83% y la mezcla con PET+SBS obtuvo un 69.83%, lo que indica que la mezcla convencional tiene una mayor cantidad de vacíos llenados con asfalto.

**Figura 55**

*Porcentaje de vacíos de agregado mineral*



Nota: Material propio de la tesis.

**Figura 56**

*Porcentaje de vacíos llenados con asfalto*



Nota: Material propio de la tesis.

La figura 55 y 56 muestra el porcentaje de vacíos de agregado mineral, donde se puede apreciar que la mezcla convencional tiene un valor menor de 13.69% y la mezcla con PET tiene 14.16% y el PET+SBS tiene 14.04, estas dos últimas con valores mayores respecto al convencional. La Figura 47, por otro lado, ilustra el porcentaje de vacíos llenados con asfalto, donde la mezcla convencional representa el 74.02% y las mezclas con PET y PET+SBS representan valores menores de 69.83% para ambos casos.

**Tabla 61**

*Porcentajes óptimos de estabilidad y flujo*

Flujo			Estabilidad		
Mezcla asfáltica en caliente			Mezcla asfáltica en caliente		
CONV.	PET	PET-SBS	Conv.	PET	PET-SBS
12.9	13.51	13.44	1287.30	1320.30	1318.99

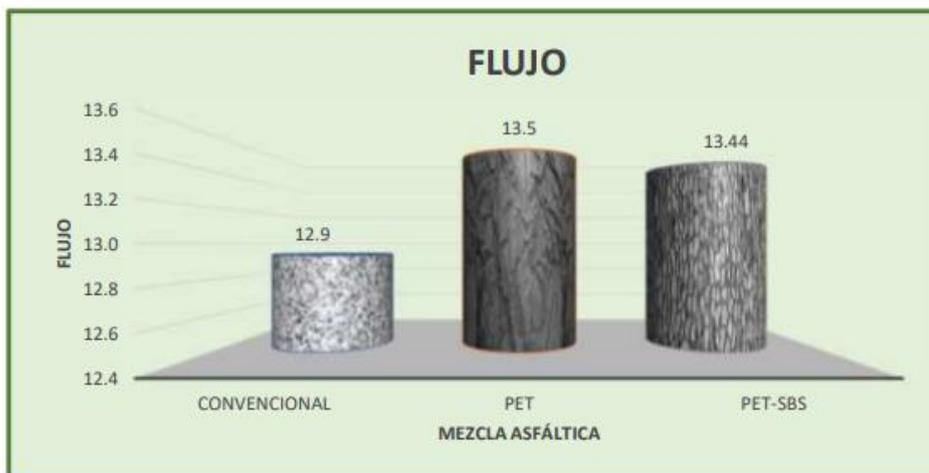
Nota: Material propio de la tesis.

La Tabla 61 presenta porcentajes óptimos de dos atributos fundamentales para evaluar las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente. El primer atributo es el flujo, que mide la capacidad de la mezcla para deformarse bajo cargas aplicadas y condiciones de temperatura. Se comparan los porcentajes de flujo para las mezclas

convencionales (12.9) y las mezclas con adiciones de PET (13.51) y PET-SBS (13.44). El segundo atributo es la estabilidad, que evalúa la resistencia de la mezcla a las deformaciones y esfuerzos cortantes. Se comparan los porcentajes de estabilidad para las mezclas convencionales (1287.30) y las mezclas con adiciones de PET (1320.30) y PET-SBS (1318.99). Es evidente que la mezcla con adición únicamente de PET exhibe valores más altos en cuanto a flujo y estabilidad. Estos datos ofrecen información valiosa sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas en diversas condiciones y composiciones, siendo esenciales para el diseño y la construcción de pavimentos y carreteras. Los valores óptimos presentados en la tabla permiten determinar los niveles deseables de flujo y estabilidad para garantizar un rendimiento adecuado en las aplicaciones de pavimentación, contribuyendo a la comprensión integral de las propiedades de las mezclas estudiadas.

### Figura 57

*Óptimos valores de flujo de la mezcla asfáltica*



Nota: Material propio de la tesis.

## Figura 58

*Óptimos valores de estabilidad de la mezcla asfáltica*



Nota: Material propio de la tesis.

En las Figuras 57 y 58 se pueden visualizar gráficamente los valores obtenidos del flujo y la estabilidad de la mezcla. La Figura 36 presenta los valores ideales de flujo para diferentes variantes de mezclas, abarcando las convencionales y aquellas con incorporaciones de PET y PET-SBS. Por otro lado, la Figura 37 ilustra los valores óptimos de estabilidad, que indican la resistencia de las mezclas a las deformaciones y esfuerzos cortantes.

Estos datos, derivados de la investigación realizada, desempeñan un papel fundamental en la orientación del diseño y la construcción de pavimentos y carreteras. Los estándares deseados de flujo y estabilidad proporcionados en estas figuras permiten establecer criterios óptimos, contribuyendo así a optimizar el rendimiento y la durabilidad de las mezclas asfálticas en diversas aplicaciones.

#### 4.14. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

##### Prueba de normalidad

##### Regla de decisión

P- Valor  $\geq 0,05$   $\alpha$ , = Los datos tienen una distribución normal (Prueba paramétrica)

P- Valor  $< 0,05$   $\alpha$ , = Los datos no tienen una distribución normal (Prueba no paramétrica)

- Nivel de significancia = 5 % = 0,05  $\alpha$
- Prueba Estadística de normalidad de datos: Shapiro- Wilk

**Tabla 62**

*Prueba de normalidad*

Asfalto convencional /Asfalto con PET y PET+SBS	Pruebas de normalidad		
	Shapiro-Wilk Estadístico	gl	Sig.
Asfalto convencional	,649	21	,000
Asfalto con PET	,659	21	,000
Asfalto con PET+SBS	,654	21	,000

La tabla 62. Nos muestra la prueba de normalidad de los datos obtenidos de asfalto convencional y asfalto con PET / PET + SBS, donde se ha obtenido un p-valor  $< 0,05$ , por lo tanto, los datos no provienen de una distribución normal. De acuerdo a la prueba se ha obtenido 21 valores, es por eso que se ha tomado los datos estadísticos Shapiro-Wilk.



## CONTRASTACION DE HIPOTESIS

Mediante la prueba de normalidad se determinó que los datos no provienen de una distribución normal, por lo tanto, se utilizó la prueba no paramétrica Rho de Spearman, donde se determinó si las propiedades del asfalto modificado con polímeros y tereftalato de polietileno son mejores que las propiedades del asfalto convencional.

### Regla de decisión

P- Valor  $\geq 0,05 \alpha$ , rechazamos la  $H_a$  y aceptamos la  $H_0$

P- Valor  $< 0,05 \alpha$ , aceptamos la  $H_a$  y rechazamos la  $H_0$

- Nivel de significancia = 5 % =  $0,05 \alpha$
- Prueba Estadística: Rho de Spearman

## FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

### Hipótesis alterna

$H_a$  = Las propiedades del asfalto modificado con polímeros y tereftalato de polietileno son mejores que las propiedades del asfalto convencional, Puno 2022.

### Hipótesis nula

$H_0$  = Las propiedades del asfalto modificado con polímeros y tereftalato de polietileno no son mejores que las propiedades del asfalto convencional, Puno 2022.

**Tabla 63**

Correlación no paramétrica

		<b>Correlaciones</b>		
			<b>Asfalto convencional</b>	<b>Asfalto con PET</b>
Rho de Spearman	<b>Asfalto convencional</b>	Coeficiente de correlación	1,000	,839
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	21	21
	<b>Asfalto con PET</b>	Coeficiente de correlación	,839	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	21	21
Rho de Spearman	<b>Asfalto convencional</b>	Coeficiente de correlación	1,000	,868
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	21	21
	<b>Asfalto con PET+SBS</b>	Coeficiente de correlación	,868	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	21	21

La tabla 63 muestra la prueba estadística de correlación no paramétrica de Rho de Spearman, donde se evidencia un P- valor de 0.00, esto comparado con el valor alfa de 0.05, es menor. Por lo tanto, se acepta la  $H_a$  = Las propiedades del asfalto modificado con polímeros y tereftalato de polietileno son mejores que las propiedades del asfalto convencional, Puno 2022.

#### 4.15. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la investigación se obtuvo para la muestra convencional el resultado del porcentaje de vacíos de aire de 3.56%, lo que significa que, en la mezcla compactada, aproximadamente el 3,56% del volumen total está ocupado por aire, así mismo al evaluar tres casos con porcentaje de PET de 2.00%, 4.00% y 8.00%, los valores del porcentaje de vacíos de aire obtenidos son de 3.77%, 4.16% y 5.27%, adicionando un 2.00 %, 4.00 y 8.00 de PET-SBS, se observa un % de vacíos de aire ( $V_a$ ) de 3.75 %, 4.12 % y 5.15 %.



Según Zambrano (2018). Obtuvo valores de las pruebas realizadas a las mezclas asfálticas para la muestra sin adición y con adición de 3% de SBS se obtuvo 2.6% y 4% de volumen de vacíos, 893 kg y 1060 kg de estabilidad y 3.81mm y 3.65 mm de flujo para la mezcla convencional y modificado con SBS. Con los datos obtenidos se concluye que los polímeros SBS influyen en las mezclas asfálticas.

Según Staver et al. (2021) En este estudio, se realizó una técnica de dosificación maestra en la que se creó una alta concentración de polímero SBS antes de diluir y mezclar otros aditivos, incluido un polímero derivado de la soja y un rejuvenecedor. El orden de las adiciones se investigó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de vía, y el impacto de los niveles de dosificación se investigó mediante un diseño factorial de 2k. El modelo muestra que el polímero SBS tiene el mayor impacto en todas las propiedades reológicas, mientras que los aditivos derivados de la soja mejoran el rendimiento a baja temperatura.

En la investigación se determinó que adicionar PET y PET + SBS en los porcentajes establecidos se logra incrementar el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, estos valores se encuentran dentro de los rangos determinados en la norma del MTC (4% - 6%), por lo que la muestra tendrá un adecuado desempeño sin ser propensa a la exudación o ahuellamiento ni a sufrir agrietamientos o desintegración, de igual manera el autor Zambrano quien adicionando una cantidad diferente a la nuestra que es de 3% de polímero SBS también logro un incremento del contenido de vacíos obteniendo un resultado favorable así mismo, los autores Staver et al mencionan que el polímero SBS tiene impacto en las propiedades de la mezcla asfáltica.

En la investigación se obtuvo la estabilidad de una mezcla asfáltica convencional, considerando un porcentaje de PET-SBS del 0,00% de adición. El valor obtenido por el método Marshall es de 1287.30 para la estabilidad, así mismo adicionan porcentajes de



PET para la mezcla con valores un 2,00 % de asfalto la estabilidad (Marshall) es de 1235,21. Para el porcentaje de asfalto del 4,00 % la estabilidad es de 1308,64. Por último, para el 8,00 % de asfalto la estabilidad es de 1326,09 y adicionando diferentes porcentajes de PET-SBS se obtuvo lo siguiente con un 2,00 % de PET-SBS, se observa una estabilidad de 1289.53, con 4,00 %, aumenta la estabilidad a 1314.49. Finalmente, con un 8,00 % de PET-SBS, se registra una estabilidad de 1330.20.

Quispe (2022) En su investigación adicionando porcentajes de polímeros SBS obtuvo como resultados para la estabilidad 999.8 kg y un porcentaje de vacíos de 75.3% adicionando 2.5% de SBS, una estabilidad de 1007.3 kg y un porcentaje de vacíos de 81.7% adicionando 3.5% y una estabilidad de 992 kg y un porcentaje de vacíos de 74.7% adicionando 4.5%.

Según Diaz (2022) en su investigación los resultados que obtuvo, acorde al % de agregados a utilizar en base a 1200 gramos (el peso de una muestra de un testigo de concreto asfáltico) con 75 golpes, se obtuvo el % a emplear de PEN 120-150 con respecto al peso que es del 5.9%. obtenido los datos se procedió con los ensayos del PET, en los porcentajes de 4% - 5% - 6% - 7% de PET con relación al peso de los testigos (1200 gr). Realizado el ensayo Marshall, los valores fueron positivos ya que la estabilidad mínima obtenida fue de 9.0202 kN que es equivalente a (919.8 kgf), y la estabilidad máxima acorde a sus porcentajes fue de 11.526 kN que es equivalente a (1175.3 kgf). Al obtener estos resultados, se verifica que, cumplen con algunos aspectos establecidos para pavimentos flexibles.

En la investigación se determinó que adicionar PET Y PET + SBS la estabilidad obtenida de cada muestra tiene un incremento que esta sobre el mínimo establecido de 830 kg por la norma del MTC, demostrando que las muestras tienen buena resistencia, al



igual que los autores Quispe y Días quienes adicionando cantidades similares obtuvieron también valores superiores al establecido en las norma demostrando que los polímeros tanto SBS y polímero de PET influyen positivamente en la estabilidad de la mezcla asfáltica.

En la investigación se obtuvo el flujo de una mezcla asfáltica convencional, considerando un porcentaje de PET-SBS del 0,00% de adición. El valor obtenido del flujo por el método Marshall es de 12.93, así mismo adicionan % de PET para la mezcla con valores un 2,00 % de asfalto el flujo es de 12,67. Para el porcentaje de asfalto del 4,00 % el flujo es de 13,27. Por último, para el 8,00 % de asfalto el flujo es de 16, 33 y adicionando diferentes porcentajes de PET-SBS se obtuvo lo siguiente con un 2,00 % de PET-SBS, se observa un flujo de 12.53, con 4,00 %, él flujo aumenta a 13.20. Finalmente, con un 8,00 % de PET-SBS, se registra un flujo de 16.00.

Según Charcape (2022) se planteó en examinar cómo los polímeros reciclados afectan la estabilidad y el flujo Marshall en el pavimento asfáltico en el Anexo Cruce Cascas, La Libertad. La metodología es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño cuasi experimental, donde se realizaron el análisis y caracterización de los materiales, realizaron un total de 80 briquetas y del polímero reciclado. Como resultados adicionando 0%, 1%, 3% y 6% de polímeros se obtuvo 3.6%, 5.9%, 11.1% y 14.56% de vacíos, 12.05 mm, 13.31 mm, 13.90 mm y 16.66 mm de flujo, 1002 kg, 1379 kg, 1602 kg y 1113 kg de estabilidad. Con los resultados obtenidos se concluye que el flujo se encuentra dentro del rango establecido excepto con la adición de 6%, y los datos de la estabilidad son mayores a lo solicitado en la EG-2013.

Quispe (2022) En su investigación donde adiciono polímeros SBS en porcentajes de 2.5%, 3.5% Y 4.5% para mejorar las propiedades del asfalto, para ello se empleó el



ensayo de Marshall usando la normativa del MTC E504. Como resultados se obtuvo un flujo de 13.8” y un % de vacíos de 75.3% adicionando 2.5% de SBS, un flujo de 13.4” y un % de vacíos de 81.7% adicionando 3.5% y un flujo de 13.2” y un % de vacíos de 74.7% adicionando 4.5%.

En la investigación se determinó que adicionar PET Y PET + SBS los valores de flujo obtenidos de cada muestra tiene un incremento los cuales se encuentran dentro de lo establecido por la norma MTC (800 kg min. A 1400 kg max.), demostrando que las muestras tienen resistencia para deformarse, al igual que el autor Charcape quien adicionando porcentajes similares también obtuvo resultados que están dentro de los rangos establecidos, excepto que adicionando 6% de polímeros de PET se obtuvo un valor mayor al establecido, así mismo el autor Quispe también obtuvo valores similares que se encuentran dentro de los establecido en la normativa.

En la investigación se obtuvo los porcentajes óptimos del PET que es de 4.50% con el que se realizó un diseño considerando un tráfico, con el cual también se determinó que el % de cemento asfáltico, la estabilidad, el flujo, los porcentajes de vacío, el porcentaje de vacíos rellenos de asfalto y el % de vacíos del agregado mineral (VMA). Los cuales entran dentro de los rangos especificados por el MTC, de la misma manera para la mezcla asfáltica modificada con una combinación de tereftalato de polietileno reciclado (PET) y SBS para su uso en condiciones de tráfico pesado se obtuvo el % óptimo de 4.50% donde también se determinó el porcentaje de cemento asfáltico, la estabilidad, el flujo, los porcentajes de vacío ( $V_a$ ), vacíos rellenos de asfalto (VFA) y vacíos del agregado mineral (VMA) cumpliendo con los criterios de calidad establecidos por el MTC.



Según Luque (2019) en su investigación incorporando tereftalato de polietileno (PET) triturado en porcentajes de 2.50%, 5.00%, 7.50%, 10.00%, 12.50%, 15.00%, en relación al contenido óptimo de asfalto por peso, después de completar la investigación, se determinó que el contenido óptimo de tereftalato de polietileno a incorporar en el concreto asfáltico modificado es del 6.70% en relación con el % de la masa del asfalto, este % específico permite alcanzar el óptimo comportamiento en los parámetros de Marshall, cumpliendo también las Especificaciones Generales (EG-2013).

Quispe (2022) obtuvo como resultados con adiciones de polímeros SBS en porcentajes de 2.5%, 3.5% Y 4.5% para mejorar las propiedades del asfalto, donde, se obtuvo una estabilidad de 999.8 kg, un flujo de 13.8” y un % de vacíos de 75.3% adicionando 2.5% de SBS, una estabilidad de 1007.3 kg, un flujo de 13.4” y un porcentaje de vacíos de 81.7% adicionando 3.5% y una estabilidad de 992 kg, un flujo de 13.2” y un % de vacíos de 74.7% adicionando 4.5%. Con los datos obtenidos en el resultado se concluye que el uso de 3.5% de polímero SBS está dentro de los requisitos mejorando las propiedades de la mezcla asfáltica.

Charcape (2022) obtuvo como resultados adicionando 0%, 1%, 3% y 6% de polímeros 3.6%, 5.9%, 11.1% y 14.56% de vacíos, 12.05 mm, 13.31 mm, 13.90 mm y 16.66 mm de flujo, 1002 kg, 1379 kg, 1602 kg y 1113 kg de estabilidad. Con los resultados obtenidos se concluye que el flujo se encuentra dentro del rango establecido excepto con la adición de 6%, y los datos de la estabilidad son mayores a lo solicitado en la EG-2013

En la investigación se obtuvo un porcentaje óptimo de 4.50% de las dos diferentes dosificaciones adicionadas a la mezcla asfáltica, esta es menor al presentado por el investigador Luque que es de 6.70% con los cuales también se obtuvo resultados



favorables cumpliendo con las exigencias de las normativas peruanas. De la misma forma el autor Charcape obtuvo como porcentaje óptimo de adición 6% de polímeros y el autor Quispe obtuvo un valor menor de 3% de adición de polímeros SBS.



## V. CONCLUSIONES

- Primero, como resultados se obtuvo, los porcentajes de vacíos para la mezcla convencional es 3.56%, adicionando PET en 2.00%, 4.00% y 8.00%, se obtiene 3.77%, 4.16% y 5.27% y adicionando PET+SBS se obtiene 3.75%, 4.12% y 5.15%. De la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica convencional es 1287.30 y 12.93 respectivamente, adicionando PET en 2,00% el flujo es 12,67 y la estabilidad es 1235.21, con 4,00% el flujo es 13,27 y la estabilidad es 1308,64 y con 8,00% el flujo es 16, 33 y la estabilidad es 1326,09 y con PET+SBS con 2,00%, el flujo es 12.53 y una estabilidad de 1289.53, con 4,00%, él flujo es 13.20 y la estabilidad es 1314.49 y con 8,00% el flujo es 16.00 y una estabilidad de 1330.20.
- Segundo, los porcentajes de vacíos determinados en la investigación son para la mezcla convencional 3.56%, lo que significa que, aproximadamente ese porcentaje del volumen total está ocupado por aire, así mismo al adicionar porcentajes de PET de 2.00%, 4.00% y 8.00%, los valores del porcentaje de vacíos de aire obtenidos son de 3.77%, 4.16% y 5.27% y adicionando PET + SBS en porcentajes de 2.00 %, 4.00 y 8.00 de PET-SBS, se observa un porcentaje de vacíos de aire son de 3.75 %, 4.12 % y 5.15 %, muestran la adición aumenta los porcentajes de vacíos también tienden a incrementar, sobrepasando ligeramente el rango establecido de 3 min. a 5 máx.
- Tercero, En la investigación se realizó la estabilidad de una mezcla asfáltica convencional, considerando un porcentaje de PET-SBS del 0,00% de adición. El valor obtenido por el método Marshall es de 1287.30 para la estabilidad, así mismo adicionan porcentajes de PET para la mezcla con valores un 2,00 % de asfalto la estabilidad (Marshall) es de 1235 ,21. Para el porcentaje de asfalto del 4,00 % la estabilidad es de 1308,64. Por último, para el 8,00 % de asfalto la estabilidad es de 1326,09 y adicionando diferentes porcentajes de PET-SBS se obtuvo lo siguiente con



un 2,00 % de PET-SBS, se observa una estabilidad de 1289.53, con 4,00 %, aumenta la estabilidad a 1314.49. Finalmente, con un 8,00 % de PET-SBS, se registra una estabilidad de 1330.20.

- Cuarto, En la investigación se obtuvo el flujo de una mezcla asfáltica convencional, considerando un porcentaje de PET-SBS del 0,00% de adición. El valor obtenido del flujo por el método Marshall es de 12.93, así mismo adicionan porcentajes de PET para la mezcla con valores un 2,00 % de asfalto el flujo es de 12,67. Para el porcentaje de asfalto del 4,00 % el flujo es de 13,27. Por último, para el 8,00 % de asfalto el flujo es de 16, 33 y adicionando diferentes porcentajes de PET-SBS se obtuvo lo siguiente con un 2,00 % de PET-SBS, se observa un flujo de 12.53, con 4,00 %, el flujo aumenta a 13.20. Finalmente, con un 8,00 % de PET-SBS, se registra un flujo de 16.00.
- Quinto, los porcentajes óptimos obtenidos tanto para las adiciones de PET y PET +SBS son de 4.50% con el que se realizó u diseño considerando un tráfico pesado, obteniendo también los datos para el % de cemento asfáltico, la estabilidad, el flujo, los porcentajes de vacío, el % de vacíos rellenos de asfalto y el % de vacíos del agregado mineral (VMA). Los cuales se encuentran dentro de los rangos especificados y cumpliendo de acuerdo a los criterios de calidad establecidos por el MTC.



## VI. RECOMENDACIONES

- Primero, considerando los resultados obtenidos en la investigación, se sugiere usar los polímeros PET y PET + SBS ya que con los porcentajes adicionados se mejoran las propiedades de la mezcla asfáltica, los porcentajes de vacíos, la estabilidad y flujo.
- Segundo, considerando los resultados obtenidos en la investigación, se sugiere que el porcentaje máximo de adición de PET y PET + SBS ha demostrado mejorar los porcentajes de vacíos de aire de la mezcla asfáltica cumpliendo los criterios de calidad establecidos por el MTC.
- Tercero, considerando los resultados obtenidos en la investigación, se sugiere que el porcentaje máximo de adición de PET y PET + SBS ha demostrado mejorar la estabilidad de la mezcla asfáltica cumpliendo los criterios de calidad establecidos por el MTC.
- Cuarto, considerando los resultados obtenidos en la investigación, se sugiere que el porcentaje máximo de adición de PET y PET + SBS ha demostrado mejorar el flujo de la mezcla asfáltica cumpliendo los criterios de calidad establecidos por el MTC.
- Quinto, para mejorar las mezclas asfálticas se recomienda el uso de PET y PET +SBS en un porcentaje de 4.50% con el que se realizó el diseño de la mezcla asfáltica.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de Energia. (2021). *Global Energy Review 2021*. IEA. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)*. ASTM.
- Angeles, P. (2019). *Las ventajas y desventajas de los plásticos: alternativas respetuosas con el medio ambiente*.
- Cabrejos, L., & Vigo, M. (2022). *Influencia del tereftalato de polietileno en las propiedades físicas mecánicas de una mezcla asfáltica, Trujillo 2021*. Trujillo: UTP.
- Camargo, H., & Suárez, A. (2010). *Diagnóstico de las nuevas tecnologías empleadas para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente MDC-2*. Bogotá D.C. : UMNG.
- Castro, J. (2021). *Incidencia de la adición de polímeros en los hormigones asfálticos convencionales mezclados en planta para vías en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua*. Ambato - Ecuador: UTA.
- Charcape, K. (2022). *Efecto de Polímeros Reciclados en la Estabilidad y Flujo Marshall en Pavimento Asfáltico en el Anexo Cruce Cascas, la Libertad*. Trujillo: UCV.
- Chavez, H., & Pezo, A. (2020). *Propuesta Teórica de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente producida a Temperatura Ambiente Menor a Seis Grados Centígrados en Perú*. Lima: UPC.



- Chuman Aguirre, J. M. (2017). *Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016*. Huancayo - Peru: Universidad Peruana los Andes.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio . (2021, Marzo 03). *El comercio mundial de plásticos es un 40% mayor de lo que se pensaba, según un estudio*. Retrieved from UNCTAD: <https://unctad.org/es/news/el-comercio-mundial-de-plasticos-es-un-40-mayor-de-lo-que-se-pensaba-segun-un-estudio>
- Diaz, W. A. (2022). *Efectos de la incorporación de pet reciclado en mezclas asfálticas en caliente para cargas de bajo tránsito en la ciudad de Iquitos – Perú, 2021*. Tesis, Universidad Científica del Perú, Iquitos - Perú.
- Esfandabad, A., Motevalizadeh, S., Sedghi, R., Ayar, P., & Asgharzadeh, S. (2020). Fracture and mechanical properties of asphalt mixtures containing granular polyethylene terephthalate (PET). *Construction and Building Materials*.
- Esteban, N. T. (2018). Tipos de investigación. *Dialnet*, 1-4.
- Fariña, Á., Kutay, M., & Anctil, A. (2023). Environmental assessment of asphalt mixtures modified with polymer coated rubber from scrap tires. *Journal of Cleaner Production*.
- Ferreira, J. W., Marroquin, J. F., Felix, J. F., Farias, M. M., & Casagrande, M. D. (2022). The feasibility of recycled micro polyethylene terephthalate (PET) replacing natural sand in hot-mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 330, 1-13. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.127276
- Gargate, F. M., & Huamaní, J. (2018). *Análisis comparativo de mezclas asfálticas con polímeros y tradicional para optimizar propiedades mecánicas en pavimento flexible - Lima, 2018*. Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo.
- Gobierno Regional Puno. (2008). *Plan de desarrollo regional concertado al 2021*. Puno: Gobierno Regional Puno.
- Griñán, J. (2021). *Infraestructuras sostenibles: desarrollo de mezclas asfálticas con residuos de la plasticultura*. Cratagena: UPCT.



- Hernandez, R. (2018). *Metodología de investigación*. Ciudad de México: McGRAW-HILL.
- IEES-SNI. (2019). *Fabricación de productos de plástico*. Institutos de Estudios Económicos y Sociales.
- Iguaran, A. M., Guerrero, A. P., & Marulanda, J. E. (2021). *Estimación de los costos de mantenimiento del pavimento rígido en las vías del centro histórico del distrito especial, turístico y cultural de Riohacha*. Universidad de la Guajira, Riohacha.
- Luque, A. M. (2019). *Influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico – Juliaca, 2018*. Universidad Nacional del Altiplano. Juliaca: UNAP. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13230>
- Ma, J., & Hesp, S. (2022). Effect of recycled polyethylene terephthalate (PET) fiber on the fracture resistance of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*.
- Monturiol, M. (2019). *Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con PET*. Costa Rica.
- MTC. (2018). *Glosario de términos*. Lima.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. Journal Morphol*, 35, 227-232.
- Puente, J. (2020). *Análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas*. Huancayo: UPLA.
- QuimiNet. (2010). *Usos y aplicaciones del Polietileno Tereftalato (PET)*. Retrieved from <https://www.quiminet.com/>
- Quispe, G. (2022). *Desempeño óptimo de una mezcla asfáltica en caliente modificada con Polímero Styrene Butadiene Styrene*. Universidad Ricardo Palma. Lima: URP.
- Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Ecoe Ediciones. .



- Sierra, C., & Mejía, C. (2017). *Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años: caso de estudio Universidad de Bogotá D.C.* Bogotá: UB.
- Spadoni, S., Paolo, L., Mocelin, D., Kim, R. Y., & Canestrari, F. (2022). Comparison of asphalt mixtures containing polymeric compounds and polymer-modified bitumen based on the VECD theory. *Construction and Building Materials*, 349, 1-13. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128725
- Staver, M., Arabzadeh, A., Williams, R. C., & Cochran, E. (2021, Diciembre ). Statistical analysis factor screening of soybean oil and polymer modified asphalt blending using master batching technique. *Construction and Building Materials*, 313, 1-9. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125435
- Tamayo y Tamayo, M. (2018). *"El proceso de la investigación científica"* (4ta ed.). México: Editorial limusa.
- Zambrano, A. (2018). *Evaluación del comportamiento del asfalto modificado con polímeros utilizados en la vía asfaltada Macusani – Ollachea KM 182+250 AL KM 188+300.* Juliaca: UANCV.



## ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	VARIABLES	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cuál es el análisis comparativo del asfalto convencional y asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno (PET), región de Puno – 2022?	Comparar las propiedades de mezcla asfáltica en caliente convencional y modificado con polímeros y tereftalato de polietileno usando agregados de la cantera Cabanilla, Puno 2022.	Las propiedades del asfalto modificado con polímeros y tereftalato de polietileno son mejores a que las propiedades del asfalto convencional, Puno 2022	<b>Variable independiente:</b> Polímeros SBS Tereftalato de polietileno, Agregados de la cantera Cabanillas	Dosificación de polímeros, PET, Agregado grueso y fino (A.G, A.F)	Asfalto sin adición A. Grueso + A. Fino 38%+62%  Adición con: PET + A. Grueso + A. Fino 0.112(2%) + 37.9% + 61.9% 0.224(4%) + 37.9% + 61.9% 0.448(8%) + 37.8% + 61.7%	<b>Nivel de Investigación</b> Correlacional  <b>Diseño de investigación</b> Experimental  <b>Tipo de Investigación</b> Aplicativo  <b>Enfoque de investigación</b> Cuantitativo
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>				
¿Cuáles son las propiedades reológicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno (PET)?	Determinar las propiedades reológicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla.	El asfalto modificado con tereftalato de polietileno usando materiales de la cantera Cabanilla tiene mejores propiedades reológicas que el asfalto convencional.			Adición con: Polímeros + PET + A.G.+ A.F. 0.112(1+1%) + 37.9% + 61.9% 0.224(2+2%) + 37.9% + 61.9% 0.448(4+4%) + 37.8% + 61.7%	<b>Población:</b> Todas las probetas elaboradas con asfalto.  <b>Muestra:</b> Son 78 unidades de probetas de asfalto  <b>Técnicas y métodos</b> Recopilación de la Información Preliminar, Investigaciones in Situ.
¿Cuáles son las propiedades físicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno (PET)?	Determinar las propiedades físicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno usando	El asfalto modificado con tereftalato de polietileno usando materiales de la cantera Cabanilla tiene mejores propiedades físicas que el asfalto convencional.			<b>Agregados:</b> Durabilidad, Granulometría, Abrasión los ángeles, Partículas chatas y alargadas, Caras fracturadas, Sales Solubles Totales, Absorción, equivalente de arena, Azul de	<b>Instrumentos</b> Equipos y herramientas de laboratorio Software de análisis e interpretación de resultados en gabinete

<p>¿Cuáles son las propiedades mecánicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno (PET)?</p>	<p>materiales de cantera Cabanilla.</p>	<p>Determinar las propiedades mecánicas del asfalto convencional y el asfalto modificado con adición de polímeros y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b> Diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional y modificado</p>	<p>Propiedades reológicas, físicas y mecánicas del asfalto y agregados</p>	<p>metileno, índice de plasticidad N°40 y 100.  <b>Cemento Asfáltico:</b> Penetración, punto de inflamación, ductilidad, Solubilidad en Tricloro-etileno, Índice de Penetración, Solvente Nafta – Xileno, Pérdida de masa, Ductilidad del residuo.  <b>Asfalto endurecido:</b> Peso Específico (gr/cm<sup>3</sup>), Estabilidad (kg), Flujo 0.01", Porcentaje de Vacíos (%), Relación Estabilidad/flujo (kg/cm).</p>
<p>¿Cuál es la dosificación óptima que debe incorporarse de polímeros y tereftalato de polietileno (PET) para lograr las propiedades ideales del asfalto en caliente?</p>	<p>Determinar la dosificación óptima que debe incorporarse de polímeros y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla para lograr las propiedades ideales.</p>	<p>El asfalto modificado con tereftalato de polietileno usando materiales de la cantera Cabanilla tiene mejores propiedades mecánicas que el asfalto convencional.  La dosificación óptima que debe incorporarse de polímeros y tereftalato de polietileno usando materiales de cantera Cabanilla para lograr las propiedades ideales, se encuentra en el rango de 2% PET a 8% Polímeros + 8% PET.</p>			

Nota: Elaboración propia

**ANEXO 2.** Matriz de operacionalización

Variables	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Instrumento	Escala de medición
<p><b>V.I.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Polímeros SBS</li> <li>- Tereftalato de polietileno</li> <li>- Agregados de cantera Cabanilla</li> </ul>	<p>La modificación del asfalto con polímeros, tereftalato de polietileno y agregados de cantera Cabanilla se adiciona con porcentajes para la obtención de mejores resultados en sus propiedades físicas y reológicas.</p>	<p>Dosificaciones de polímeros, PET, Agregado grueso y fino (A.G, A.F)</p>	<p>Asfalto sin adición A. Grueso + A. Fino 38%+62% Adición con: PET + A. Grueso + A. Fino 0.112(2%) + 37.9% + 61.9% 0.224(4%) + 37.9% + 61.9% 0.448(8%) + 37.8% + 61.7% Adición con: Polímeros + PET + A.G. + A.F. 0.112(1+1%) + 37.9% + 61.9% 0.224(2+2%) + 37.9% + 61.9% 0.448(4+4%) + 37.8% + 61.7%</p>	<p>%  %  %</p>	<p>Equipos y herramientas de laboratorio</p>	<p>Razón</p>
<p><b>V.D.</b></p> <p>Diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional y modificado</p>	<p>El diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional y modificado se medirán en las propiedades físicas y reológicas del asfalto en caliente convencional como el peso específico, estabilidad y flujo del asfalto, porcentaje de vacíos y por último la relación de estabilidad-flujo.</p>	<p>Propiedades físicas y reológicas del asfalto</p>	<p>Peso Específico, Estabilidad (kg), Flujo 0.01”,  Porcentaje de Vacíos  Relación Estabilidad/flujo</p>	<p>(gr/cm<sup>3</sup>), gr/cm<sup>3</sup>  %  (kg/cm)</p>	<p>Equipos y herramientas de laboratorio, Fichas de control de calidad de laboratorio</p>	<p>Razón</p>

Nota: Elaboración propia

## ANEXO 3. Ensayos de Laboratorio

### Granulometría

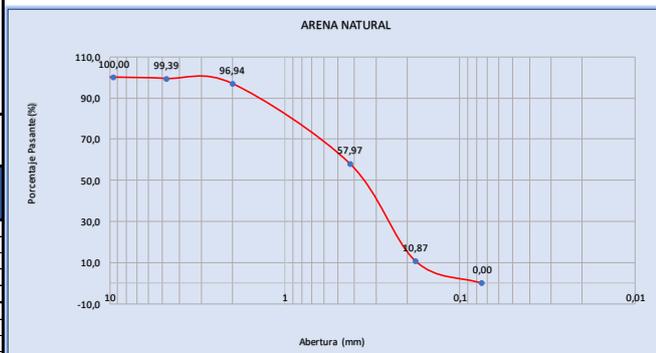
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022.					
<b>MATERIAL:</b> CARPETA ASFÁLTICA					
<b>MUESTRA:</b> PIEDRA CHANCADA DE TAMAÑO MÁXIMO DE 1/2"					
<b>CANTERA:</b> PROPORCIONADO POR LA EMPRESA CASA					
<b>NORMA:</b> MTC E 107-2000, NTP 400.012-2001, AASHTO T-27, ASTM D422					
<b>PESO INICIAL:</b>		2613,90 g			
Tamiz		Material Retenido			Material Pasante (%)
ASTM		Peso (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	
Pulg	mm				
1"	25	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12	563,00	21,54	21,54	78,46
3/8"	9,5	1094,00	41,85	63,39	36,61
Nº 4"	4,75	928,00	35,50	98,89	1,11
Nº 10	2	24,73	0,95	99,84	0,16
Nº 40	0,425	2,05	0,08	99,92	0,08
Nº 80	0,18	1,01	0,04	99,96	0,04
Nº 200	0,075	0,71	0,03	99,98	0,02
Nº 200 >		0,41	0,02	100,00	0,00



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022.					
<b>MATERIAL:</b> CARPETA ASFÁLTICA					
<b>MUESTRA:</b> PIEDRA CHANCADA DE TAMAÑO MÁXIMO DE 3/8"					
<b>CANTERA:</b> PROPORCIONADO POR LA EMPRESA CASA					
<b>NORMA:</b> MTC E 107-2000, NTP 400.012-2001, AASHTO T-27, ASTM D422					
<b>PESO INICIAL:</b>		2261,00 g			
Tamiz		Material Retenido			Material Pasante (%)
ASTM		Peso (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	
Pulg	mm				
1"	25	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	384,50	17,01	17,01	82,99
Nº 4"	4,75	1611,00	71,25	88,26	11,74
Nº 10	2	262,00	11,59	99,85	0,15
Nº 40	0,425	2,84	0,13	99,97	0,03
Nº 80	0,18	0,25	0,01	99,98	0,02
Nº 200	0,075	0,11	0,00	99,99	0,01
Nº 200 >		0,30	0,01	100,00	0,00



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022.					
<b>MATERIAL:</b> CARPETA ASFÁLTICA					
<b>MUESTRA:</b> ARENA NATURAL					
<b>CANTERA:</b> PROPORCIONADO POR LA EMPRESA CASA					
<b>NORMA:</b> MTC E 107-2000, NTP 400.012-2001, AASHTO T-27, ASTM D422					
<b>PESO INICIAL:</b>		1142,10 g			
Tamiz		Material Retenido			Material Pasante (%)
ASTM		Peso (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	
Pulg	mm				
1"	25	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4"	4,75	7,00	0,61	0,61	99,39
Nº 10	2	28,00	2,45	3,06	96,94
Nº 40	0,425	445,00	38,96	42,03	57,97
Nº 80	0,18	537,90	47,10	89,13	10,87
Nº 200	0,075	124,20	10,87	100,00	0,00
Nº 200 >		0,00	0,00	100,00	0,00



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

**PROYECTO:** ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022

**MATERIAL:** CARPETA ASFÁLTICA

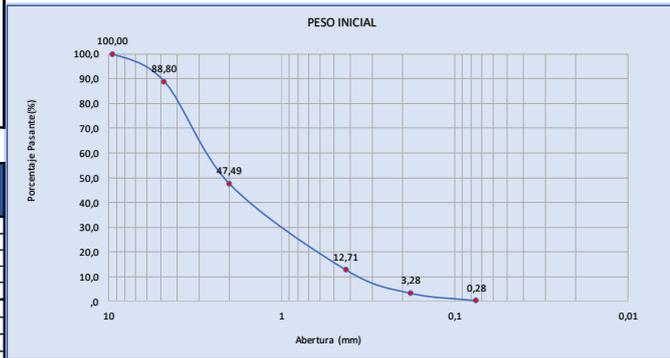
**MUESTRA:** GRAVILLA

**CANTERA:** PROPORCIONADO POR LA EMPRESA CASA

**NORMA:** MTC E 107-2000,NTP 400.012-2001, AASHTO T-27, ASTM D422

PESO INICIAL 2650,93

Tamiz ASTM	Pulg	mm	Material Retenido			Material Pasante (%)
			Peso (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	
1"	25		0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19		0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12		0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5		0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4"	4,75		297,00	11,20	11,20	88,80
Nº 10	2		1095,00	41,31	52,51	47,49
Nº 40	0,425		922,00	34,78	87,29	12,71
Nº 80	0,18		249,98	9,43	96,72	3,28
Nº 200	0,075		79,45	3,00	99,72	0,28
Nº 200 >			7,50	0,28	100,00	0,00



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

**PROYECTO:** ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022

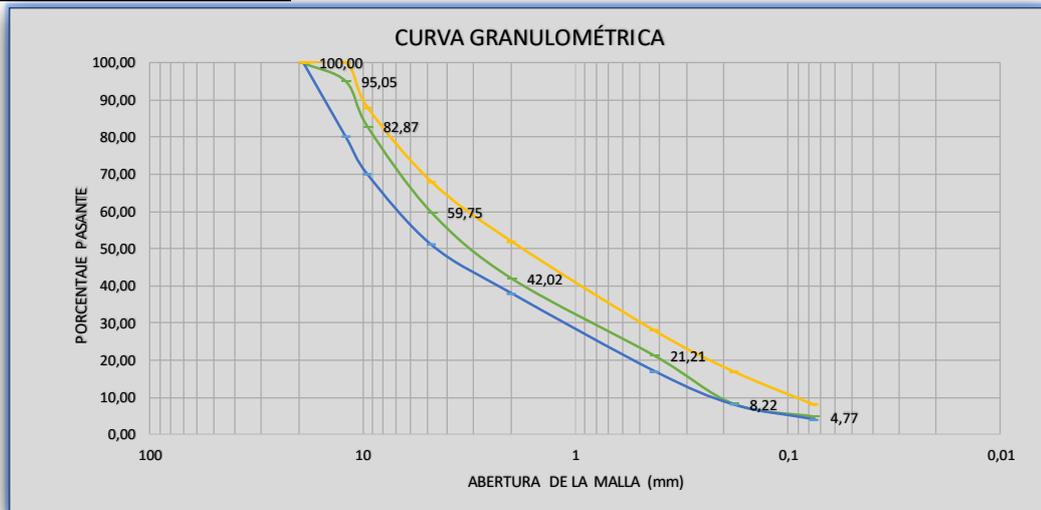
**MATERIAL:** CARPETA ASFÁLTICA

**MUESTRA:** COMBINACION DE AGREGADOS

**CANTERA:** PROPORCIONADO POR LA EMPRESA CASA

**NORMA:** MTC E 107-2000,NTP 400.012-2001, AASHTO T-27, ASTM D422

PESO : 8667,93 g



ASTM	Pulg	mm	PIEDRA CHANCADA DE TAMAÑO MÁXIMO DE 3/4"	PIEDRA CHANCADA DE TAMAÑO MÁXIMO DE 3/8"	ARENA NATURAL	GRAVILLA	FILLER-CEMENTO	F1	F2	F3	grav	F4	F1+F2+F3+F4	TOTAL PASANTE (%)	MAC-2	
								0,23	0,15	0,2	0,37	0,05				
1"	25		0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100		
3/4"	19		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1/2"	12		21,54	0,00	0,00	0,00	0,00	4,95	0,00	0,00	0,00	0,00	4,95	95,05	80	100
3/8"	9,5		41,85	17,01	0,00	0,00	0,00	9,63	2,55	0,00	0,00	0,00	12,18	82,87	70	88
Nº 4"	4,75		35,50	71,25	0,61	11,20	0,00	8,17	10,69	0,12	4,15	0,00	23,12	59,75	51	68
Nº 10	2		0,95	11,59	2,45	41,31	0,00	0,22	1,74	0,49	15,28	0,00	17,73	42,02	38	52
Nº 40	0,425		0,08	0,13	38,96	34,78	2,20	0,02	0,02	7,79	12,87	0,11	20,81	21,21	17	28
Nº 80	0,18		0,04	0,01	47,10	9,43	1,47	0,01	0,00	9,42	3,49	0,07	12,99	8,22	8	17
Nº 200	0,075		0,03	0,00	10,87	3,00	3,12	0,01	0,00	2,17	1,11	0,16	3,45	4,77	4	8
200>			0,02	0,01	0,00	0,28	93,21	0,00	0,00	0,00	0,10	4,66	4,77	0,00		

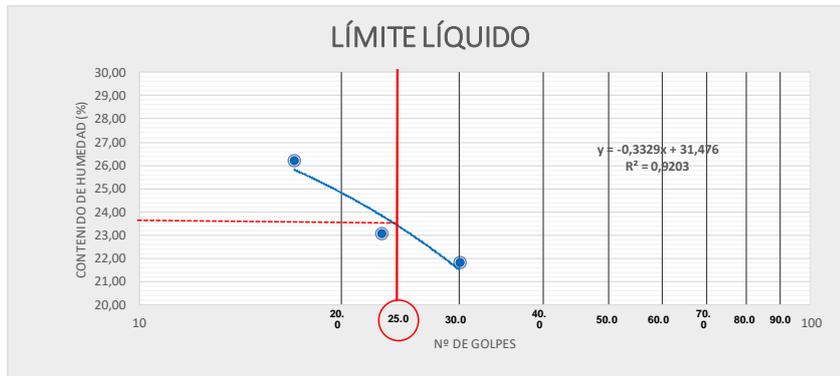
## Índice de plasticidad

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>	
<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>	
NORMA: ASTM D4318, MTC E111	
<b>PROYECTO</b>	: TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022".
<b>SOLICITAD</b>	: Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO : Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA
<b>UBICACIÓN</b>	: Perú - Puno
<b>LABORATO</b>	: UNAP - Ingeniería Civil - Lab. Mecánica de suelos y Pavimentos.

LÍMITE DE CONSISTENCIA							
DESCRIPCIÓN	UND.	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
		1	2	3	4	1	2
N° de ensayo		1	2	3	4	1	2
Tara		S-42	S-40	S-60			
Peso de la tara	gr.	20,13	21,2	20,68			
Peso de tara + muestra húmeda	gr.	34,92	33,89	34,21			
Peso de tara + muestra seca	gr.	32,27	31,51	31,4			
Peso del agua	gr.	2,65	2,38	2,81			
Peso de la muestra seca	gr.	12,14	10,31	10,72			
Contenido de Humedad	%	21,83	23,08	26,21			
N° de golpes		30	23	17			
Promedio de contenido de humedad	%						

N. P.

Contenido de Humedad (%)	21,83	23,08	26,21	-
N° de golpes	30	23	17	-



## RESULTADOS

$$\text{ÍNDICE DE PLASTICIDAD} = LL - LP$$

RESULTADOS	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
LÍMITE LÍQUIDO	N. P.
LÍMITE PLÁSTICO	0,00

## Caras fracturadas

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>		
<b>CARAS FRACTURADAS</b>		
NORMA: ASTM D 5821, MTC E210		
<b>PROYECTO</b>	: TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA. PUNO - 2022".	
<b>SOLICITAD</b>	: Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO	
<b>UBICACIÓN</b>	: Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA	
<b>LABORATO</b>	: Perú - Puno	
	: UNAP - Ingeniería Civil - Lab. Mecánica de suelos y Pavimentos.	

### PRIMER ENSAYO

CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		Peso de la muestra (gr.)	Peso del material con caras fracturadas (gr.)	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje retenido de la gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas
Tamiz (pasante)	Tamiz (Retiene)	A	B	C = (B/A)*100	D	E = C*D
3/4"	1/2"	1200	1115,65	92,97	80,00	7437,67
1/2"	3/8"	300	256,3	85,43	20,00	1708,67
TOTAL					100,00	9146,33

$$\text{Porcentaje con una cara fracturada} = \frac{\text{Total E}}{\text{Total D}} = \frac{9146,33}{100} = 91,46\%$$

**SI CUMPLE**

CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		Peso de la muestra (gr.)	Peso del material con caras fracturadas (gr.)	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje retenido de la gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas
Tamiz (pasante)	Tamiz (Retiene)	A	B	C = (B/A)*100	D	E = C*D
3/4"	1/2"	1200	910,38	75,87	80,00	6069,20
1/2"	3/8"	300	180,26	60,09	20,00	1201,73
TOTAL					100,00	7270,93

$$\text{Porcentaje con dos cara fracturada} = \frac{\text{Total E}}{\text{Total D}} = \frac{7270,93}{100} = 72,71\%$$

**SI CUMPLE**

### SEGUNDO ENSAYO

CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		Peso de la muestra (gr.)	Peso del material con caras fracturadas (gr.)	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje retenido de la gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas
Tamiz (pasante)	Tamiz (Retiene)	A	B	C = (B/A)*100	D	E = C*D
3/4"	1/2"	1200	1130,25	94,19	80,00	7535,00
1/2"	3/8"	300	264,23	88,08	20,00	1761,53
TOTAL					100,00	9296,53

$$\text{Porcentaje con una cara fracturada} = \frac{\text{Total E}}{\text{Total D}} = \frac{9296,53}{100} = 92,97\%$$

**SI CUMPLE**

CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		Peso de la muestra (gr.)	Peso del material con caras fracturadas (gr.)	Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje retenido de la gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas
Tamiz (pasante)	Tamiz (Retiene)	A	B	C = (B/A)*100	D	E = C*D
3/4"	1/2"	1200	905,96	75,50	80,00	6039,73
1/2"	3/8"	300	185,36	61,79	20,00	1235,73
TOTAL					100,00	7275,47

$$\text{Porcentaje con dos cara fracturada} = \frac{\text{Total E}}{\text{Total D}} = \frac{7275,47}{100} = 72,75\%$$

**SI CUMPLE**

### RESULTADOS

	ENSAYO 1	ENSAYO 2	PROMEDIO	RESULTADO
$\text{Porcentaje con una cara fracturada} = \frac{\text{Total E}}{\text{Total D}} =$	91,46 %	92,97 %	92,2 %	<b>92</b>
$\text{Porcentaje con dos cara fracturada} = \frac{\text{Total E}}{\text{Total D}} =$	72,71 %	72,75 %	72,7 %	<b>73</b>

## Gravedad específica de agregados

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS</b>	
NORMA: NTP:400.021, 400.022, ASTM C-127, C-128	
<b>PROYECTO</b> : TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022". <b>SOLICIDAD</b> : Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA <b>UBICACIÓN</b> : Perú - Puno <b>LABORATO</b> : UNAP - Ingeniería Civil - Lab. Mecánica de suelos y Pavimentos.	

### I. AGREGADO GRUESO

NORMA: NTP:400.021, ASTM C-127

DESCRIPCIÓN	Und.	ENSAYO	
		M1	M2
A Peso de la muestra seca (Horno-24h-110°C)	gr.	2304,06	2262,14
B Peso de agregado saturada superficialmente seca	gr.	2324,15	2282,15
C Peso de la muestra SSS (sumergida en agua)	gr.	1382,20	1357,20

CÁLCULO			PROMEDIO	
Peso específico Saturado superficialmente Seca = B/(B-C)	gr/cm³	2,47	2,47	2,467
Peso específico de la masa = A/(B-C)	gr/cm³	2,45	2,45	2,446
Peso específico aparente = A/(A-C)	gr/cm³	2,50	2,50	2,500
Absorción de agua = ((B-A)/A)*100	%	0,87%	0,88%	0,88%

#### GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADOS GRUESOS

a) Gravedad específica bulk S.S.S: (G<sub>sss</sub>)

$$G_s = \frac{W_s}{W_s - W_{sum}} = 2,467$$

b) Gravedad específica bulk seca : (G<sub>m</sub>)

$$G_m = \frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} = 2,446$$

c) Gravedad específica aparente: (G<sub>s</sub>)

$$G_{sss} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} = 2,500$$

OBSERVACIONES:

### II. AGREGADO FINO (ARENA CHANCADA)

NORMA: NTP:400.022, ASTM C-128

DESCRIPCIÓN	Und.	ENSAYO	
		M1	M2
A Peso del picnómetro	gr.	162,30	154,23
B Peso del agregado superficialmente seca	gr.	500,05	500,06
C Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	657,26	654,35
D Peso del agregado superficialmente seca+ peso picnómetro + peso del agua	gr.	956,93	954,15
E Peso de la arena seca	gr.	497,60	497,48

CÁLCULO			PROMEDIO	
Peso específico Saturado superficialmente Seca = B/(C+B-D)	gr/cm³	2,496	2,497	2,496
Peso específico de la masa = E/(C+B-D)	gr/cm³	2,483	2,484	2,484
Peso específico aparente = E/(C+E-D)	gr/cm³	2,514	2,517	2,515
Absorción de agua = (B-E)/E	%	0,49%	0,52%	0,51%

#### GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADOS GRUESOS

a) Gravedad específica bulk S.S.S: (G<sub>sss</sub>)

$$G_s = \frac{W_s}{W_s - W_{sum}} = 2,496$$

b) Gravedad específica bulk seca : (G<sub>m</sub>)

$$G_m = \frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} = 2,484$$



c) Gravedad específica aparente: (Gs)

$$G_{sss} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} = 2,515$$

OBSERVACIONES:

### III. AGREGADO FINO (ARENA NATURAL)

NORMA: NTP:400.022, ASTM C-128

#### ENSAYO 1

DESCRIPCIÓN	Und.	ENSAYO	
		M1	M2
A Peso del picnómetro	gr.	167,98	167,70
B Peso del agregado superficialmente seca	gr.	500,04	500,10
C Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	667,25	667,19
D Peso del agregado superficialmente seca+ peso picnómetro + peso del agua	gr.	974,28	974,23
E Peso de la arena seca	gr.	497,66	497,75

CÁLCULO			PROMEDIO	
Peso específico Saturado superficialmente Seca = B/(C+B-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,59	2,59	2,591
Peso específico de la masa = E/(C+B-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,58	2,58	2,578
Peso específico aparente = E/(C+E-D)	gr/cm <sup>3</sup>	2,61	2,61	2,610
Absorción de agua = (B-E)/E	%	0,48%	0,47%	0,48%

#### GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS GRUESOS

a) Gravedad específica bulk S.S.S: (Gsss)

$$G_s = \frac{W_s}{W_s - W_{sum}} = 2,591$$

b) Gravedad específica bulk seca : (Gm)

$$G_m = \frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} = 2,578$$

c) Gravedad específica aparente: (Gs)

$$G_{sss} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} = 2,610$$

## Sales solubles

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**SALES SOLUBLES**  
NORMA: AASHTO T290, MTC E 219

**PROYECTO** : TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFTALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022".

**SOLICITAD** : Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO  
Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA

**UBICACIÓN** : Perú - Puno

**LABORATO** : UNAP - Ingeniería Civil - Lab. Mecánica de suelos y Pavimentos.

### Cálculos

$$\% \text{ Sales Solubles} = \frac{1}{\frac{C * A}{D * B}} * 100$$

## I. AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYO		PROMEDIO SALES SOLUBLES
		1	2	
Tara		A-1	A-2	<b>0,05 %</b>
Masa Tara	gr.	-	-	
A Masa de la muestra	gr.	505,00	506,00	
B Volumen de matraz aforado	ml.	500,00	500,00	
C Volumen alicuota	ml.	100,00	100,00	
D Masa cristalizada	gr.	0,05	0,05	
Porcentaje de sales	%	0,05	0,05	

## II. AGREGADO FINO (ARENA CHANCADA)

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYO		PROMEDIO SALES SOLUBLES
		1	2	
Tara		A-3	A-4	<b>0,06 %</b>
Masa Tara	gr.	-	-	
A Masa de la muestra	gr.	150,00	150,00	
B volumen de matraz aforado	ml.	500,00	500,00	
C Volumen alicuota	ml.	100,00	100,00	
D Masa cristalizada	gr.	0,02	0,02	
Porcentaje de sales	%	0,05	0,07	

## III. AGREGADO FINO (ARENA NATURAL)

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYO		PROMEDIO SALES SOLUBLES
		1	2	
Tara		A-5	A-6	<b>0,09 %</b>
Masa Tara	gr.	-	-	
A Masa de la muestra	gr.	150,00	150,00	
B volumen de matraz aforado	ml.	500,00	500,00	
C Volumen alicuota	ml.	100,00	100,00	
D Masa cristalizada	gr.	0,03	0,03	
Porcentaje de sales	%	0,10	0,08	

## Gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS**

**TESIS**

**PRESENTADO**

**UBICACIÓN**

: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022

: Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO  
Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA

: Perú - Puno

### I. CARACTERÍSTICAS

<b>Tipo</b>	: MEZCLA MODIFICADA CON PET
<b>Cemento Asfáltico</b>	: PEN 120-150
<b>Especímenes</b>	: MODIFICADO CON PET
<b>% de asfalto</b>	: 5,3

$G_{1a} > G_b > G_{1a}$

**Donde:**  
 $G_{1a}$  = Gravedad específica seca aparente  
 $G_b$  = Gravedad específica seca bulk  
 $G_{1a}$  = Gravedad específica efectiva del agregado

$G_{mb} = \frac{W_0}{W_{SSD} - W_{sumergido}}$

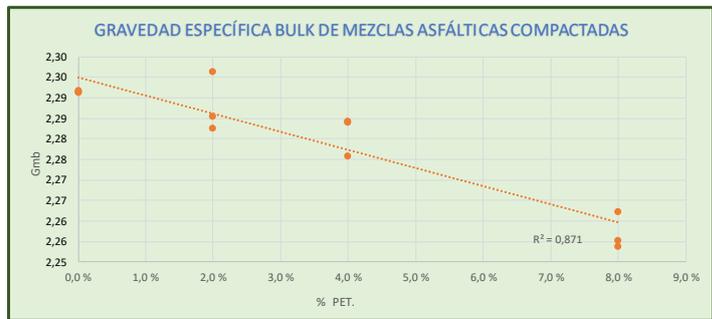
**Donde:**  
 $G_{mb}$  = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.  
 $W_0$  = Peso al aire del espécimen seco.  
 $W_{SSD}$  = Peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco.  
 $W_{sumergido}$  = Peso al aire del espécimen sumergido en el agua.

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (Gmb)						
Especímen	Porcentaje de PET	Peso al aire del espécimen seco: (Ws)	Peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco: (Wsss)	Peso del espécimen sumergido en agua: (Wsumergido)	Gmb Ws/(Wsss-Wsumergido)	Gmb
M1	0,0 %	1203	1204	679	2,291	2,291
M2		1194	1195	674	2,292	
M3		1196	1198	676	2,291	
M1	2,0 %	1180	1182	665	2,282	2,288
M2		1177	1178	663	2,285	
M3		1194	1195	675	2,296	
M1	4,0 %	1199	1201	676	2,284	2,281
M2		1197	1199	673	2,276	
M3		1190	1192	671	2,284	
M1	8,0 %	1184	1186	661	2,255	2,257
M2		1199	1202	672	2,262	
M3		1190	1193	665	2,254	

### II. CUADRO DE RESUMEN:

Porcentaje de PET	Gmb
0,0 %	2,291
2,0 %	2,288
4,0 %	2,281
8,0 %	2,257

### III. GRÁFICOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS



### I. CARACTERÍSTICAS

Tipo	: MEZCLA MODIFICADA CON PET Y SBS
Cemento Asfáltico	: PEN 120-150
Especímenes	: MODIFICADO CON PET Y SBS
% de asfalto	: 5,3

$G_{sa} > G_{sb} > G_{se}$   
**Donde:**  
 $G_{sa}$  = Gravedad específica seca aparente  
 $G_{sb}$  = Gravedad específica seca bulk  
 $G_{se}$  = Gravedad específica efectiva del agregado

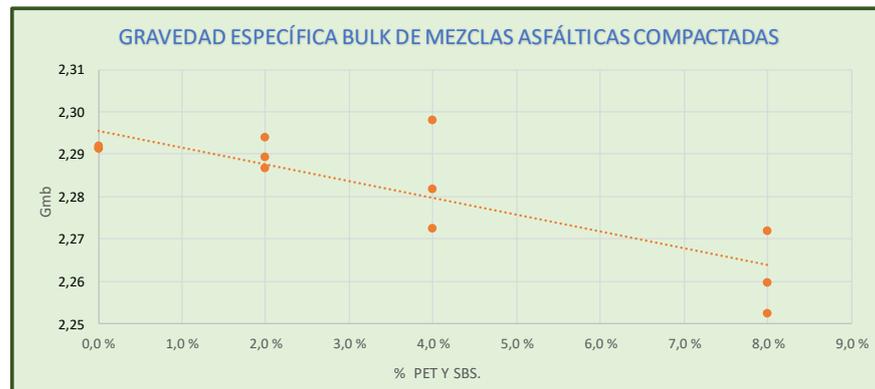
$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sumergido}}$$
  
**Donde:**  
 $G_{mb}$  = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.  
 $W_D$  = Peso al aire del espécimen seco.  
 $W_{SSD}$  = Peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco.  
 $W_{sumergido}$  = Peso al aire del espécimen sumergido en el agua.

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS ( $G_{mb}$ )						
Espécimen	Porcentaje de PET Y SBS	Peso al aire del espécimen seco: ( $W_s$ )	Peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco: ( $W_{sss}$ )	Peso del espécimen sumergido en agua: ( $W_{sumergido}$ )	$G_{mb}$ $W_s/(W_{sss} - W_{sumergido})$	$G_{mb}$
M1	0,0 %	1203	1204	679	2,291	2,291
M2		1194	1195	674	2,292	
M3		1196	1198	676	2,291	
M1	1%-1%	1189	1191	671	2,287	2,290
M2		1179	1180	665	2,289	
M3		1186	1187	670	2,294	
M1	2%-2%	1191	1193	671	2,282	2,284
M2		1195	1196	676	2,298	
M3		1193	1194	669	2,272	
M1	4%-4%	1184	1186	662	2,260	2,261
M2		1178	1180	657	2,252	
M3		1170	1171	656	2,272	

### II. CUADRO DE RESUMEN:

Porcentaje de PET+SBS	$G_{mb}$
0,0 %	2,291
2,0 %	2,290
4,0 %	2,284
8,0 %	2,261

### III. GRÁFICOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS



## Gravedad Específica Teórica Máxima (RICE)

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>		
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (RICE)</b>		
<b>TESIS</b>  <b>PRESENTADO</b>  <b>UBICACIÓN</b>	: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022  : Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO : Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA  : Perú - Puno	

### I. CARACTERÍSTICAS

<b>Tipo</b>	: MEZCLA MODIFICADA CON PET
<b>Cemento Asfáltico</b>	: PEN 120-150
<b>Especímenes</b>	: MODIFICADO CON PET
<b>% de asfalto</b>	: 5,3

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D + E}$$

Donde:

$G_{mm}$  = Gravedad específica teórica máxima.

A = Masa de la muestra seca en aire (gr).

D = Masa de tapa y tazón con agua a 25°C (gr).

E = Masa de tapa, tazón, muestra y agua 25°C (gr).

GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (Gmm)								
Muestra	PORCENTAJE PET	Masa de la muestra seca en aire	Masa del recipiente + muestra	Masa de tapa y tazón	Masa de tapa y tazón con agua	Masa de tapa y tazón + agua + muestra después del vacío parcial	$G_{mm}$ (bruto)	$G_{mm}$
		A = B - C	B	C	D	E	A/(A+D+E)	
M1	0,0 %	1181	4884	3703	7992	8676	2,376	2,376
M2		1192	4895	3703	7992	8682	2,376	
M1	2,0 %	1184	4887	3703	7992	8678	2,378	2,378
M2		1186	4889	3703	7992	8679	2,378	
M1	4,0 %	1183	4886	3703	7992	8678	2,380	2,380
M2		1190	4893	3703	7992	8682	2,380	
M1	8,0 %	1193	4896	3703	7992	8684	2,383	2,383
M2		1189	4892	3703	7992	8682	2,383	

### II. CUADRO DE RESUMEN:

Porcentaje de PET	$G_{mm}$
0,0 %	2,376
2,0 %	2,378
4,0 %	2,380
8,0 %	2,383

4884

### III. GRÁFICO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA TEORICA MAXIMA (RICE)**

---

**PROYECTO** : ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFTALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022

**SOLICITADO** : Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO

**UBICACIÓN** : Perú - Puno

**LABORATORIO** : UNAP - Ingeniería Civil - Lab. Mecánica de suelos y Pavimentos.

**FECHA** : Julio del 2023.

**I. CARACTERÍSTICAS**

<b>Tipo</b>	: MEZCLA MODIFICADA CON PET + SBS
<b>Cemento Asfáltico</b>	: PEN 120-150
<b>Especímenes</b>	: MODIFICADO CON PET Y SBS
<b>% de asfalto</b>	: 5,3

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D + E}$$

Donde:

$G_{mm}$  = Gravedad específica teórica máxima.

A = Masa de la muestra seca en aire (gr).

D = Masa de tapa y tazón con agua a 25°C (gr).

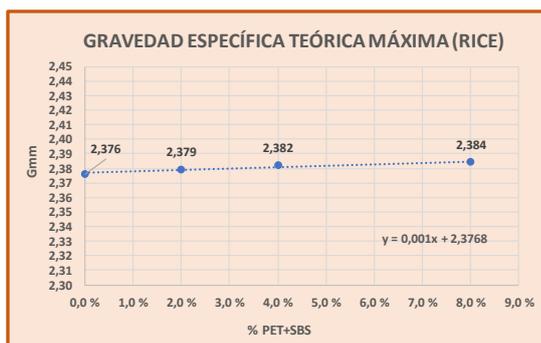
E = Masa de tapa, tazón, muestra y agua 25°C (gr).

GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (Gmm)								
Muestra	PORCENTAJE PET+SBS	Masa de la muestra seca en aire	Masa del recipiente + muestra	Masa de tapa y tazón	Masa de tapa y tazón con agua	Masa de tapa y tazón + agua + muestra después del vacio parcial	G <sub>mm</sub> (bruto)	G <sub>mm</sub>
		A = B - C	B	C	D	E	A/(A+D+E)	
M1	0,0 %	1181	4884	3703	7992	8676	2,376	2,376
M2		1192	4895	3703	7992	8682	2,376	
M1	1%-1%	1184	4887	3703	7992	8678	2,379	2,379
M2		1189	4892	3703	7992	8681	2,379	
M1	2%-2%	1189	4892	3703	7992	8682	2,383	2,382
M2		1186	4889	3703	7992	8680	2,382	
M1	4%-4%	1190	4893	3703	7992	8683	2,384	2,384
M2		1185	4888	3703	7992	8680	2,384	

**II. CUADRO DE RESUMEN:**

Porcentaje de PET + SBS	G <sub>mm</sub>
0,0 %	2,376
2,0 %	2,379
4,0 %	2,382
8,0 %	2,384

**III. GRÁFICO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE)**



## Estabilidad y flujo Marshall

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

### LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

### ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

<b>PROYECTO</b>	: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFTALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022
<b>SOLICITADO</b>	: Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA
<b>UBICACIÓN</b>	: Perú - Puno

### I. CARACTERÍSTICAS

<b>Tipo</b>	: MEZCLA MODIFICADA CON PET
<b>Cemento Asfálti</b>	: PEN 120-150
<b>Especímenes</b>	: MODIFICADO CON PET
<b>% de asfalto</b>	: 5,3

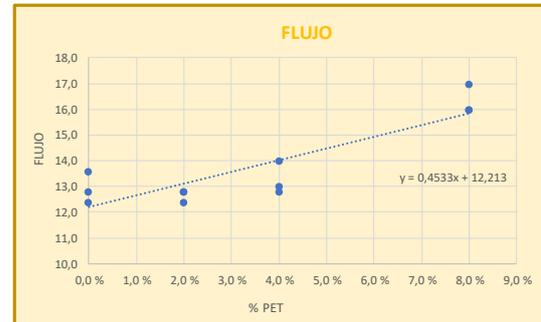
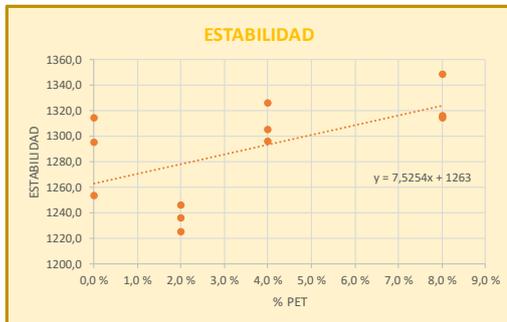
ESTABILIDAD						
Espécimen	Porcentaje de PET	Lectura del micrometro de estabilidad	Estabilidad Kgf	Factor de corrección	ESTABILIDAD corregida (Kgf)	PROMEDIO
M1	0,0 %	-	1314,3	1,00	1314,30	<b>1287,30</b>
M2		-	1294,6	1,00	1294,60	
M3		-	1305,2	0,96	1252,99	
M1	2,0 %	-	1286,7	0,96	1235,23	<b>1235,21</b>
M2		-	1224,6	1,00	1224,60	
M3		-	1245,8	1,00	1245,80	
M1	4,0 %	-	1304,5	1,00	1304,50	<b>1308,64</b>
M2		-	1349,8	0,96	1295,81	
M3		-	1325,6	1,00	1325,60	
M1	8,0 %	-	1370,4	0,96	1315,58	<b>1326,09</b>
M2		-	1348,5	1,00	1348,50	
M3		-	1314,2	1,00	1314,20	

FLUJO		
Lectura del micrometro de flujo	FLUJO	PROMEDIO
3,2	12,8	<b>12,9</b>
3,4	13,6	
3,1	12,4	
3,2	12,8	<b>12,7</b>
3,1	12,4	
3,2	12,8	
3,5	14,0	<b>13,3</b>
3,3	13,0	
3,2	12,8	
4,3	17,0	<b>16,3</b>
4,0	16,0	
4,0	16,0	

### II. CUADRO DE RESUMEN:

Porcentaje de PET	ESTABILIDAD (Kgf)	FLUJO
0,0 %	1287,30	12,9
2,0 %	1235,21	12,7
4,0 %	1308,64	13,3
8,0 %	1326,09	16,3

### III. GRAFICOS DE ESTABILIDAD Y FLUJO



### I. CARACTERÍSTICAS

Tipo	: MEZCLA MODIFICADA CON PET + SBS
Cemento Asfálti	: PEN 120-150
Especímenes	: MODIFICADO CON PET Y SBS
% de asfalto	: 5,3

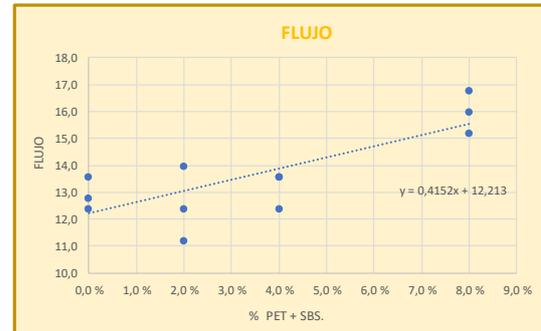
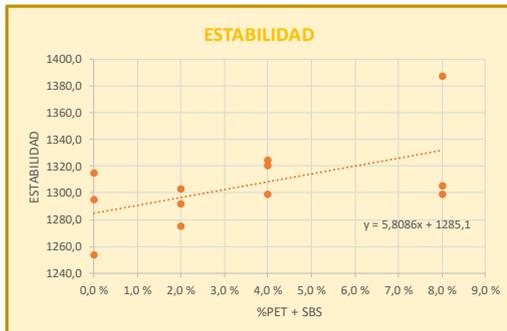
ESTABILIDAD						
Espécimen	Porcentaje de PET Y SBS	Lectura del micrometro de estabilidad	Estabilidad Kgf	Factor de corrección	ESTABILIDAD corregida (Kgf)	PROMEDIO
M1	0,0 %	-	1314,3	1,00	1314,30	1287,30
M2		-	1294,6	1,00	1294,60	
M3		-	1305,2	0,96	1252,99	
M1	1-1 %	-	1274,6	1,00	1274,60	1289,53
M2		-	1302,5	1,00	1302,50	
M3		-	1291,5	1,00	1291,50	
M1	2-2 %	-	1324,5	1,00	1324,50	1314,49
M2		-	1298,6	1,00	1298,60	
M3		-	1375,4	0,96	1320,38	
M1	4-4 %	-	1352,6	0,96	1298,50	1330,20
M2		-	1386,9	1,00	1386,90	
M3		-	1305,2	1,00	1305,20	

FLUJO		
Lectura del micrómetro de flujo	FLUJO	PROMEDIO
3,2	12,8	12,9
3,4	13,6	
3,1	12,4	
2,8	11,2	12,5
3,5	14,0	
3,1	12,4	
3,4	13,6	13,2
3,4	13,6	
3,1	12,4	
4,0	16,0	16,0
4,2	16,8	
3,8	15,2	

### II. CUADRO DE RESUMEN:

Porcentaje de PET + SBS	ESTABILIDAD (Kgf)	FLUJO
0,0 %	1287,30	12,9
2,0 %	1289,53	12,5
4,0 %	1314,49	13,2
8,0 %	1330,20	16,0

### III. GRÁFICOS DE ESTABILIDAD Y FLUJO





Diseño de mezcla asfáltica – Método Marshall

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>		
<b>DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA - MÉTODO MARSHALL</b>		
<b>TESIS</b>	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022	
<b>PRESENTADO</b>	: Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO : Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA	
<b>UBICACIÓN</b>	: Perú - Puno	

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON PET Y PET - SBS

**I. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS**

	AGREGADO GRUESO	ARENA CHANCADA	ARENA NATURAL	FILLER
	Gravedad específica bulk Seca	Gravedad específica bulk Seca	Gravedad específica bulk Seca	Gravedad específica del filler
$G_m$	2,446	2,484	2,578	3,15

**II. DATOS DE LA MEZCLA MODIFICADA CON PET**

1. Porcentaje de Agregados

Agregado	Porcentaje	% de agregados de la gradación
Agregado Grueso	P1 =	38,00 %
Arena chancada	P2 =	37,00 %
Arena natural	P3 =	20,00 %
Filler	P4 =	5,00 %
TOTAL		100,00 %

% DE PET = 0,0 Con respecto al % del Cemento Asfáltico

2. Gravedad específica del Asfalto

$G_b = 1,025 \text{ g/cm}^3$

3. Gravedad específica del PET

$G_{pet} = 1,390 \text{ g/cm}^3$

Gravedad específica del SBS

$G_{ps} = 1,210 \text{ g/cm}^3$

4. Gravedad específica Neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = 2,514$$

Donde:  
 $G_{1,2,3}$ : Gravedades específicas de masa de los agregados



PORCENTAJE DE ASFALTO	<b>5,30 %</b>
-----------------------	---------------

PORCENTAJE DE PET	<b>0,0 %</b>
-------------------	--------------

A.- GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (Gmm)

$$G_{mm}^{(Bruto)} = 2,376$$

B.- GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (Gmb)

$$G_{mb}^{Ws(Wsss-Wsumergido)} = 2,291$$

C.- ESTABILIDAD Y FLUJO

$$ESTABILIDAD\ corregida\ (Kgf) = 1287,30$$

$$FLUJO = 12,9$$

D.- CÁLCULOS

% de Asfalto	$P_b = 5,30\ %$
% de Agregado	$P_s = 94,70\ %$
% Total	$P_{mm} = 100,0\ %$

Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica:

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W(rec + agua) + W_{muestra} - W(recip + agua + M.D.V.P.)} = 2,376$$

Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada:

$$G_{mb} = \frac{W_1}{W_2 - W_3} = 2,291$$

Gravedad específica efectiva del agregado:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = 2,565$$

Absorción del asfalto:

$$P_{ba} = 100 \cdot \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} \cdot G_b = 0,81\ %$$

Contenido de asfalto efectivo:

$$P_{be} = P_b - (P_{ba} \cdot \frac{P_s}{100}) = 4,53\ %$$

Porcentaje de Vacíos de Aire:

$$V_a = 100 \cdot (\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}) = 3,56\ %$$

Porcentaje de vacíos de agregado mineral:

$$VMA = 100 - (G_{mb} \cdot \frac{P_s}{G_{sb}}) = 13,69\ %$$

Porcentaje de vacíos llenados con asfalto:

$$VFA = 100 \cdot (\frac{VMA - V_a}{VMA}) = 74,02\ %$$

<b>FLUJO</b>
12,93

<b>ESTABILIDAD</b>
1287,30



### III. DATOS DE LA MEZCLA MODIFICADA CON PET

#### Porcentaje de Agregados

Agregado	Porcentaje	% de agregados de la gradación
Agregado Grueso	P1 =	37,96 %
Areña chancada	P2 =	36,96 %
Areña natural	P3 =	19,98 %
Filler	P4 =	4,99 %
TOTAL		100,00 %

% DE PET **2,0** Con respecto al % del cemento asfáltico

PORCENTAJE DE ASFALTO	<b>5,30 %</b>	PORCENTAJE DE PET	<b>2,0 %</b>
-----------------------	---------------	-------------------	--------------

#### Gravedad específica Neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = 2,512$$

$G_{1,2,3}$ : Gravedades específicas de masa de los agregados (Gm)

#### 1.- GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (Gmm)

$$G_{mm} \text{ (bruto)} = 2,378$$

#### 2.- GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (Gmb)

$$G_{mb} = \frac{W_s / (W_{ss} - W_{sumergido})}{1} = 2,288$$

#### 3.- ESTABILIDAD Y FLUJO

$$\text{ESTABILIDAD corregida (Kgf)} = 1235,21$$

$$\text{FLUJO} = 12,7$$

#### 4.- CÁLCULOS

% de Asfalto	$P_b =$	5,30 %
% de Agregado	$P_s =$	94,70 %
% Total	$P_{mm} =$	100,0 %

#### Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica:

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W(\text{rec} + \text{agua}) + W_{muestra} - W(\text{recip} + \text{agua} + M.D.V.P.)} = 2,378$$

#### Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada:

$$G_{mb} = \frac{W_1}{W_2 - W_3} = 2,288$$

#### Porcentaje de Vacíos de Aire:

$$V_a = 100 * \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) = 3,77 \%$$

#### Gravedad específica efectiva del agregado:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = 2,567$$

#### Porcentaje de vacíos de agregado mineral:

$$VMA = 100 - \left( G_{mb} * \frac{P_s}{G_{sb}} \right) = 13,82 \%$$

#### Absorción del asfalto:

$$P_{ba} = 100 * \left( \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} \right) * G_b = 0,88 \%$$

#### Porcentaje de vacíos llenados con asfalto:

$$VFA = 100 * \left( \frac{VMA - V_a}{VMA} \right) = 72,74 \%$$

#### Contenido de asfalto efectivo:

$$P_{be} = P_b - \left( P_{ba} * \frac{P_s}{100} \right) = 4,47 \%$$

FLUJO	ESTABILIDAD
12,67	1235,21



#### IV.- DATOS DE LA MEZCLA MODIFICADA CON PET

##### Porcentaje de Agregados

		% de agregados de la
Agregado Grueso	P1 =	37,92 %
Arena chancada	P2 =	36,92 %
Arena natural	P3 =	19,96 %
Filler	P4 =	4,99 %
TOTAL		100,00 %

% DE PET	4,0	Con respecto al % del Cemento Asfáltico
----------	-----	--

##### Gravedad específica Neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = 2,510$$

G<sub>1,2,3</sub>: Gravedades específicas de masa de los agregados (Gm)

PORCENTAJE DE ASFALTO	<b>5,30 %</b>
-----------------------	---------------

PORCENTAJE DE PET	<b>4,0 %</b>
-------------------	--------------

##### 1.- GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (Gmm)

$$G_{mm} \text{ (bruto)} = 2,380$$

##### 2.- GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (Gmb)

$$G_{mb} = \frac{W_s}{W_{ss} - W_{sumergido}} = 2,281$$

##### 3.- ESTABILIDAD Y FLUJO

ESTABILIDAD corregida (Kgf)	=	<b>1308,64</b>
-----------------------------	---	----------------

FLUJO	=	<b>13,3</b>
-------	---	-------------

##### 4.- CÁLCULOS

% de Asfalto	P <sub>b</sub> =	5,30 %
% de Agregado	P <sub>s</sub> =	94,70 %
% Total	P <sub>mm</sub> =	100,0 %

##### Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica:

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W(\text{rec} + \text{agua}) + W_{muestra} - W(\text{recip} + \text{agua} + M.D.V.P.)} = 2,380$$

##### Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada:

$$G_{mb} = \frac{W_1}{W_2 - W_3} = 2,281$$

##### Porcentaje de Vacíos de Aire:

$$V_a = 100 * \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) = 4,16 \%$$

##### Gravedad específica efectiva del agregado:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = 2,570$$

##### Porcentaje de vacíos de agregado mineral:

$$VMA = 100 - \left( G_{mb} * \frac{P_s}{G_{sb}} \right) = 14,07 \%$$

##### Absorción del asfalto:

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b = 0,96 \%$$

##### Porcentaje de vacíos llenados con asfalto:

$$VFA = 100 * \left( \frac{VMA - V_a}{VMA} \right) = 70,45 \%$$

##### Contenido de asfalto efectivo:

$$P_{be} = P_b - \left( P_{ba} * \frac{P_s}{100} \right) = 4,39 \%$$

FLUJO
<b>13,27</b>

ESTABILIDAD
<b>1308,64</b>



### V.- DATOS DE LA MEZCLA MODIFICADA CON PET

#### Porcentaje de Agregados

		% de agregados de la gradación
Agregado Grueso	P1 =	37,83 %
Arena chancada	P2 =	36,83 %
Arena natural	P3 =	19,91 %
Filler	P4 =	4,98 %
	TOTAL	100,00 %

#### Gravedad específica Neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = 2,505$$

$G_{1,2,3}$ : Gravedades específicas de masa de los agregados (Gm)

% DE PET = **8,0** Con respecto al % del Cemento Asfáltico

PORCENTAJE DE ASFALTO = **5,30 %**

PORCENTAJE DE PET = **8,0 %**

#### 1.- GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (Gmm)

$$G_{mm} \text{ (bruto)} = 2,383$$

#### 2.- GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (Gmb)

$$G_{mb} \text{ (Ws/(W_{ss} - W_{sumergido}))} = 2,257$$

#### 3.- ESTABILIDAD Y FLUJO

$$\text{ESTABILIDAD corregida (Kgf)} = 1326,09$$

$$\text{FLUJO} = 16,3$$

#### 4.- CÁLCULOS

% de Asfalto	$P_b =$	5,30 %
% de Agregado	$P_s =$	94,70 %
% Total	$P_{mm} =$	100,0 %

#### Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica:

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W(\text{rec} + \text{agua}) + W_{muestra} - W(\text{recip} + \text{agua} + M.D.V.P.)} = 2,383$$

#### Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada:

$$G_{mb} = \frac{W_1}{W_2 - W_3} = 2,257$$

#### Porcentaje de Vacíos de Aire:

$$V_a = 100 * \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) = 5,27 \%$$

#### Gravedad específica efectiva del agregado:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = 2,573$$

#### Porcentaje de vacíos de agregado mineral:

$$VMA = 100 - \left( G_{mb} * \frac{P_s}{G_{sb}} \right) = 14,98 \%$$

#### Absorción del asfalto:

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b = 1,09 \%$$

#### Porcentaje de vacíos llenados con asfalto:

$$VFA = 100 * \left( \frac{VMA - V_a}{VMA} \right) = 64,81 \%$$

#### Contenido de asfalto efectivo:

$$P_{be} = P_b - \left( P_{ba} * \frac{P_s}{100} \right) = 4,27 \%$$

FLUJO
16,33

ESTABILIDAD
1326,09

## VI. DATOS DE LA MEZCLA MODIFICADA CON PET Y SBS

### Porcentaje de Agregados

		% de agregados de la gradación
Agregado Grueso	P1 =	37,96 %
Arena chancada	P2 =	36,96 %
Arena natural	P3 =	19,98 %
Filler	P4 =	4,99 %
PET	P5 =	0,06 %
SBS	P6 =	0,06 %
TOTAL		100,00 %

### Gravedad específica Neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = 2,511$$

$G_{1,2,3}$ : Gravedades específicas de masa de los agregados ( $G_m$ )

% DE PET+SBS **2,0** Con respecto al % del Cemento Asfáltico

PORCENTAJE DE ASFALTO **5,30 %**

PORCENTAJE DE PET Y SBS **2,0 %**

### 1.- GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) ( $G_{mm}$ )

$$G_{mm} \text{ (bruto)} = 2,379$$

### 2.- GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS ( $G_{mb}$ )

$$G_{mb} = \frac{W_s}{(W_{sss} - W_{sumergido})} = 2,290$$

### 3.- ESTABILIDAD Y FLUJO

ESTABILIDAD corregida (Kgf) = **1289,53**

FLUJO = **12,5**

### 4.- CÁLCULOS

% de Asfalto	$P_b =$	5,30 %
% de Agregado	$P_s =$	94,70 %
% Total	$P_{mm} =$	100,0 %

### Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica:

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W(\text{rec} + \text{agua}) + W_{muestra} - W(\text{recip} + \text{agua} + M.D.V.P.)} = 2,379$$

### Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada:

$$G_{mb} = \frac{W_1}{W_2 - W_3} = 2,290$$

### Porcentaje de Vacíos de Aire:

$$V_a = 100 * \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) = 3,75 \%$$

### Gravedad específica efectiva del agregado:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = 2,569$$

### Porcentaje de vacíos de agregado mineral:

$$VMA = 100 - \left( G_{mb} * \frac{P_s}{G_{sb}} \right) = 13,74 \%$$

### Absorción del asfalto:

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b = 0,91 \%$$

### Porcentaje de vacíos llenados con asfalto:

$$VFA = 100 * \left( \frac{VMA - V_a}{VMA} \right) = 72,72 \%$$

### Contenido de asfalto efectivo:

$$P_{be} = P_b - \left( P_{ba} * \frac{P_s}{100} \right) = 4,43 \%$$

FLUJO

12,53

ESTABILIDAD

1289,53



## VII. DATOS DE LA MEZCLA MODIFICADA CON PET Y SBS

### 1. Porcentaje de Agregados

		% de agregados de la gradación
Agregado Grueso	P1 =	37,92 %
Arena chancada	P2 =	36,92 %
Arena natural	P3 =	19,96 %
Filler	P4 =	4,99 %
PET	P5 =	0,11 %
SBS	P6 =	0,11 %
TOTAL		100,00 %

% DE PET+SBS **4,0** Con respecto al % del Cemento Asfáltico

### 2. Gravedad específica del Asfalto

$$G_b = 1,025 \text{ g/cm}^3$$

### 3. Gravedad específica del PET

$$G_{fa} = 1,390 \text{ g/cm}^3$$

### 4. Gravedad específica Neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = 2,509$$

Donde:  
G<sub>1,2,3</sub>: Gravedades específicas de masa de los agregados

PORCENTAJE DE ASFALTO **5,30 %**

PORCENTAJE DE PET Y SBS **4,0 %**

### A.- GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (G<sub>mm</sub>)

$$G_{mm} \text{ (Bruto)} = 2,382$$

### B.- GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (G<sub>mb</sub>)

$$G_{mb} \text{ (W<sub>s</sub>/W<sub>ss</sub> - W<sub>sumergido</sub>)} = 2,284$$

### C.- ESTABILIDAD Y FLUJO

$$\text{ESTABILIDAD corregida} = 1314,49$$

$$\text{FLUJO} = 13,2$$

### D.- CÁLCULOS

% de Asfalto	P <sub>b</sub> =	5,30 %
% de Agregado	P <sub>s</sub> =	94,70 %
% Total	P <sub>mm</sub> =	100,0 %

Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica:

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W(\text{rec} + \text{agua}) + W_{muestra} - W(\text{recip} + \text{agua} + M.D.V.P.)} = 2,382$$

Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada:

$$G_{mb} = \frac{W_1}{W_2 - W_3} = 2,284$$

Gravedad específica efectiva del agregado:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = 2,573$$

Absorción del asfalto:

$$P_{ba} = 100 \cdot \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} \cdot G_b = 1,01 \%$$

Contenido de asfalto efectivo:

$$P_{be} = P_b - (P_{ba} \cdot \frac{P_s}{100}) = 4,34 \%$$

Porcentaje de Vacíos de Aire:

$$V_a = 100 \cdot \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) = 4,12 \%$$

Porcentaje de vacíos de agregado mineral:

$$VMA = 100 - (G_{mb} \cdot \frac{P_s}{G_{sb}}) = 13,97 \%$$

Porcentaje de vacíos llenados con asfalto:

$$VFA = 100 \cdot \left( \frac{VMA - V_a}{VMA} \right) = 70,50 \%$$

FLUJO
13,20

ESTABILIDAD
1314,49



### VIII. DATOS DE LA MEZCLA MODIFICADA CON PET

#### Porcentaje de Agregados

		% de agregados de la
Agregado Grueso	P1 =	37,83 %
Arena chancada	P2 =	36,83 %
Arena natural	P3 =	19,91 %
Filler	P4 =	4,98 %
PET	P5 =	0,22 %
SBS	P6 =	0,22 %
TOTAL		100,00 %

#### Gravedad específica Neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = 2,503$$

G<sub>1,2,3</sub>: Gravedades específicas de masa de los agregados (Gm)

% DE PET+SBS = 8,0 Con respecto al % de cemento asfáltico

PORCENTAJE DE ASFALTO **5,30 %**

PORCENTAJE DE PET Y SBS **8,0 %**

#### 1.- GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (RICE) (G<sub>mm</sub>)

$$G_{mm} = 2,384$$

#### 2.- GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (G<sub>mb</sub>)

$$G_{mb} = 2,261$$

#### 3.- ESTABILIDAD Y FLUJO

ESTABILIDAD corregida = 1330,20

FLUJO = 16,0

#### 4.- CÁLCULOS

% de Asfalto	P <sub>b</sub> =	5,30 %
% de Agregado	P <sub>s</sub> =	94,70 %
% Total	P <sub>mm</sub> =	100,0 %

#### Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica:

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W(\text{rec} + \text{agua}) + W_{muestra} - W(\text{recip} + \text{agua} + M.D.V.P.)} = 2,384$$

#### Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada:

$$G_{mb} = \frac{W_1}{W_2 - W_3} = 2,261$$

#### Porcentaje de Vacíos de Aire:

$$V_a = 100 * \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) = 5,15 \%$$

#### Gravedad específica efectiva del agregado:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = 2,575$$

#### Porcentaje de vacíos de agregado mineral:

$$VMA = 100 - \left( G_{mb} * \frac{P_s}{G_{sb}} \right) = 14,82 \%$$

#### Absorción del asfalto:

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b = 1,14 \%$$

#### Porcentaje de vacíos llenados con asfalto:

$$VFA = 100 * \left( \frac{VMA - V_a}{VMA} \right) = 65,27 \%$$

#### Contenido de asfalto efectivo:

$$P_{be} = P_b - \left( P_{ba} * \frac{P_s}{100} \right) = 4,22 \%$$

FLUJO  
16,00

ESTABILIDAD  
1330,20

## Gráficos Marshall

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA - MÉTODO MARSHALL**

**TESIS** : ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022

**PRESENTADO** : Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO  
Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA

**UBICACIÓN** : Perú - Puno

### 1.- CUADRO DE RESULTADOS

#### 1.1. Mezcla Asfáltica convencional óptimo con 5.3% de C.A.

MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	%	Gravedad específica Neta del Agregado	Gravedad específica efectiva del agregado	Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	Porcentaje de Vacíos de Aire
	P. Pol	Gsb	Gse	Gmm	Gmb	Va
	0,00 %	2,514	2,565	2,376	2,291	3,56 %

MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	%	Porcentaje de vacíos de agregado mineral:	porcentaje de vacíos llenados con asfalto:	Absorción del asfalto:	Contenido de asfalto efectivo:	MARSHALL	
	P. Pol	VMA	VFA	Pba	Pbe	FLUJO	ESTABILIDAD
	0,00 %	13,69 %	74,02 %	0,81 %	4,53 %	12,93	1287,30

#### 1.2. Mezcla Asfáltica Modificada con PET

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PET	% PET	Gravedad específica Neta del Agregado	Gravedad específica efectiva del agregado	Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	Porcentaje de Vacíos de Aire
	P. Pol	Gsb	Gse	Gmm	Gmb	Va
	2,00 %	2,512	2,567	2,378	2,288	3,77 %
	4,00 %	2,510	2,570	2,380	2,281	4,16 %
	8,00 %	2,505	2,573	2,383	2,257	5,27 %

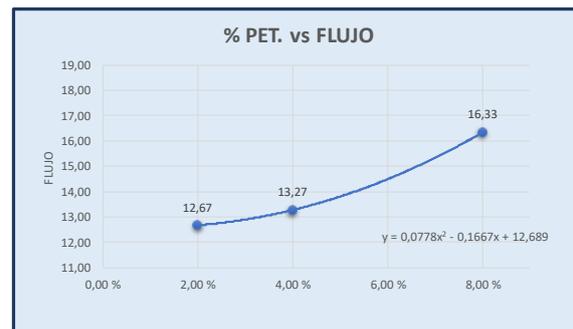
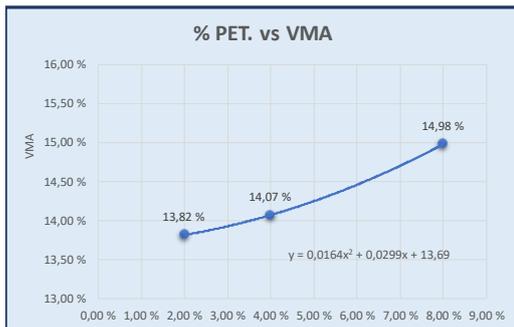
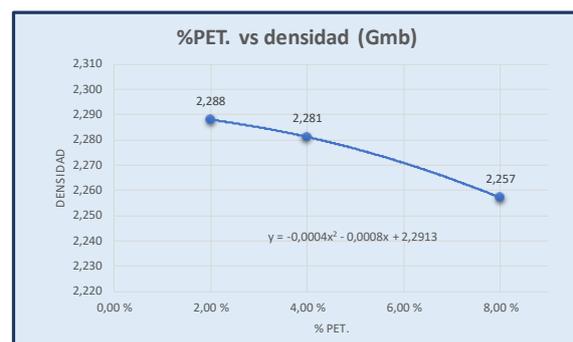
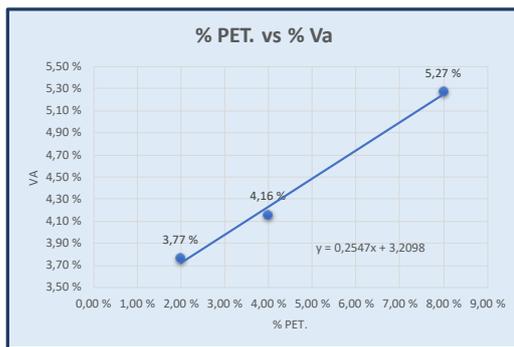
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PET	% PET	Porcentaje de vacíos de agregado mineral	porcentaje de vacíos llenados con asfalto	Absorción del asfalto	Contenido de asfalto efectivo	MARSHALL	
	P. Pol	VMA	VFA	Pba	Pbe	FLUJO	ESTABILIDAD
	2,00 %	13,82 %	72,74 %	0,88 %	4,47 %	12,67	1235,21
	4,00 %	14,07 %	70,45 %	0,96 %	4,39 %	13,27	1308,64
	8,00 %	14,98 %	64,81 %	1,09 %	4,27 %	16,33	1326,09

#### 1.3. Mezcla Asfáltica Modificada con PET - SBS

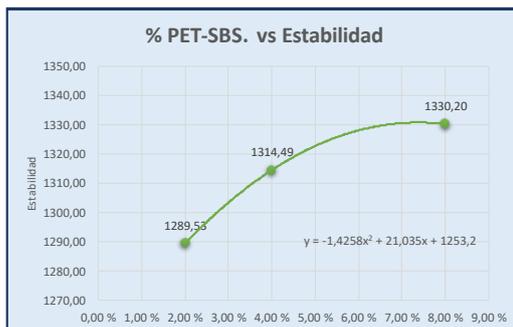
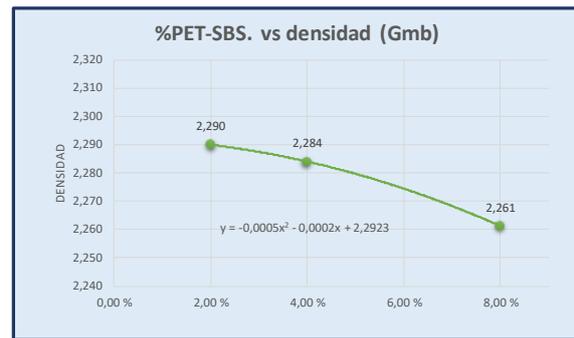
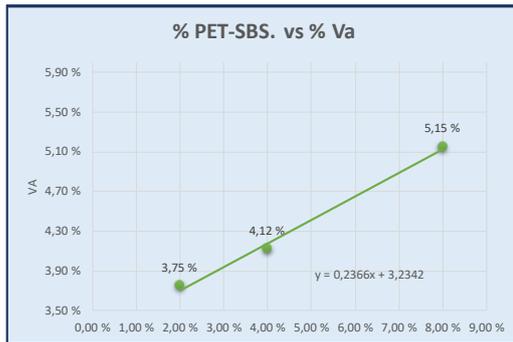
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PET - SBS	% PET - SBS	Gravedad específica Neta del Agregado	Gravedad específica efectiva del agregado	Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	Porcentaje de Vacíos de Aire
	P. Pol	Gsb	Gse	Gmm	Gmb	Va
	2,00 %	2,511	2,569	2,379	2,290	3,75 %
	4,00 %	2,509	2,573	2,382	2,284	4,12 %
	8,00 %	2,503	2,575	2,384	2,261	5,15 %

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PET - SBS	% PET - SBS	Porcentaje de vacíos de agregado mineral	porcentaje de vacíos llenados con asfalto	Absorción del asfalto	Contenido de asfalto efectivo	MARSHALL	
	P. Pol	VMA	VFA	Pba	Pbe	FLUJO	ESTABILIDAD
	2,00 %	13,74 %	72,72 %	0,91 %	4,43 %	12,53	1289,53
	4,00 %	13,97 %	70,50 %	1,01 %	4,34 %	13,20	1314,49
	8,00 %	14,82 %	65,27 %	1,14 %	4,22 %	16,00	1330,20

## 2.1- GRÁFICOS PET



## 2.1- GRÁFICOS PET-SBS

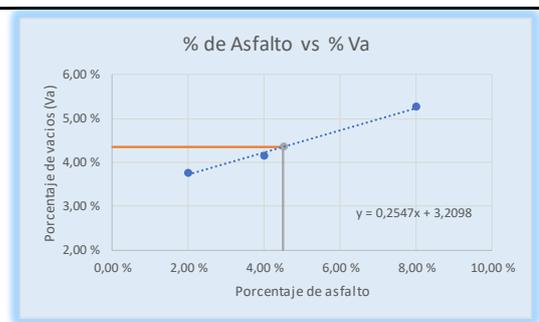


### 3.1- SELECCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA CON PET

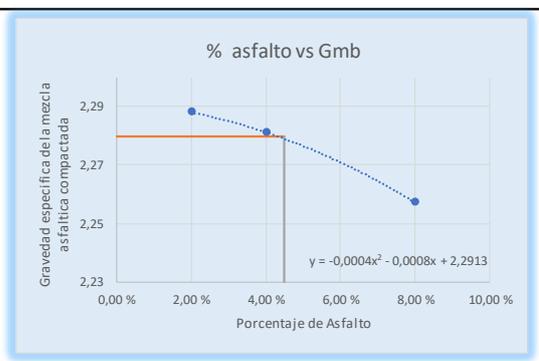
CARGA DE TRÁFICO :		TRÁFICO PESADO		
TAMAÑO NOMINAL MAX:		1/2"		
VERIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE MEZCLAS	PARÁMETROS DE DISEÑO	RESULTADOS	CONDICIÓN	
Porcentaje de cemento Asfáltico	5,30 %	5,30 %	CUMPLE	
Porcentaje de PET	4,50 %	4,50 %	CUMPLE	
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	75	75	CUMPLE	
estabilidad mínima (kg)	800	1320,30	CUMPLE	
Flujo, 0.25mm(1/100")	MIN	MAX	13,51	CUMPLE
	8	14		
porcentaje de vacios (Va)	MIN	MAX	4,36	CUMPLE
	3	5		
porcentaje de vacios rellenos de asfalto (VFA)	MIN	MAX	69,83	CUMPLE
	65	75		
porcentaje de vacios del agregado mineral (VMA)	tabla de mínimo VMA	Valor Min.	14,16 %	CUMPLE
		14		
Estabilidad/Flujo	MIN	MAX	3907,86	CUMPLE
	1700	4000		

### 3.2.- VALORES ÓPTIMOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON PET

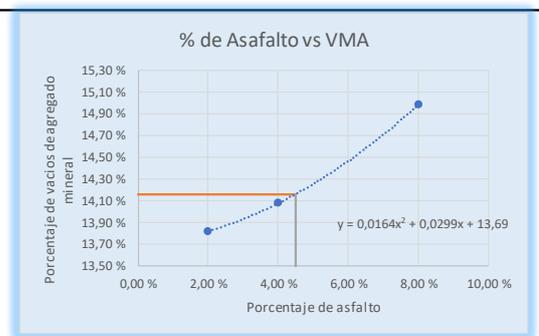
% PET	Porcentaje de Vacíos de Aire:	
Ppet	Va	
2,00 %	3,77 %	
4,00 %	4,16 %	
8,00 %	5,27 %	
<b>ÓPTIMO</b>		
Porcentaje de vacios		Porcentaje de PET
<b>Va</b>	<b>4,36 %</b>	<b>4,50 %</b>



% PET	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	
Ppet	Gmb	
2,00 %	2,288	
4,00 %	2,281	
8,00 %	2,257	
<b>ÓPTIMO</b>		
Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada		Porcentaje de PET
<b>Gmb</b>	<b>2,280</b>	<b>4,50 %</b>

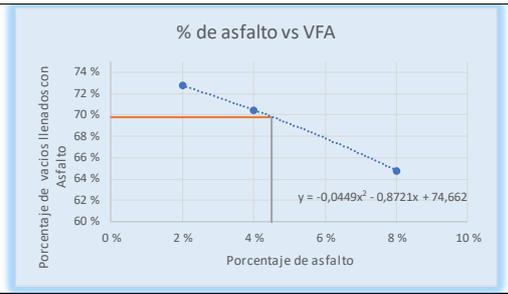


% PET	Porcentaje de vacios de agregado mineral	
Ppet	VMA	
2,00 %	13,82 %	
4,00 %	14,07 %	
8,00 %	14,98 %	
<b>ÓPTIMO</b>		
Porcentaje de vacios de agregado mineral		Porcentaje de PET
<b>VMA</b>	<b>14,16 %</b>	<b>4,50 %</b>



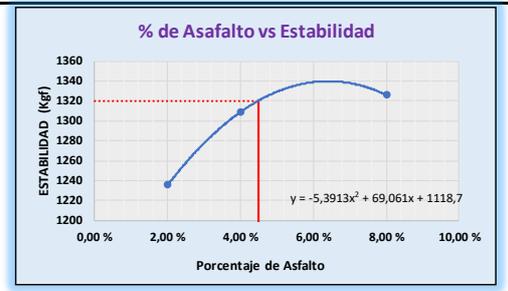
%PET	porcentaje de vacíos llenados con asfalto
Ppet	VFA
2,00 %	72,74 %
4,00 %	70,45 %
8,00 %	64,81 %

ÓPTIMO	
Porcentaje de vacíos de agregado mineral	Porcentaje de PET
VFA	69,83 %
	4,50 %



% pet	ESTABILIDAD
Ppet	
2,00 %	1235,21
4,00 %	1308,64
8,00 %	1326,09

ÓPTIMO	
ESTABILIDAD	Porcentaje de PET
1320,3	4,50 %



% PET	FLUJO
Pfib.	
2,00 %	12,67
4,00 %	13,27
8,00 %	16,33

ÓPTIMO	
FLUJO	Porcentaje de PET
13,51	4,50 %



### 3.3 CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO ÓPTIMO CON PET

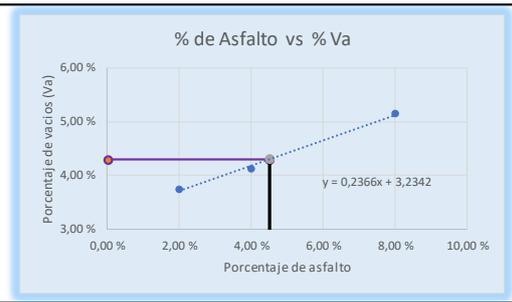
DESCRIPCIÓN	ABREV.	RESULTADOS
Porcentaje de PET	PET	4,50 %
Porcentaje de Vacíos	Va	4,36
Gravedad	Gmb	2,280
Porcentaje de vacíos de agregado mineral	VMA	14,16 %
porcentaje de vacíos llenados con asfalto	VFA	69,83 %
ESTABILIDAD		1320,3
FLUJO		13,51
ESTABILIDAD/FLUJO (kg/cm)		3907,86

### 4.2- SELECCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA CON PET Y SBS

CARGA DE TRÁFICO :	TRÁFICO PESADO		
TAMAÑO NOMINAL MAX:	1/2"		
VERIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE MEZCLAS	PARÁMETROS DE DISEÑO	RESULTADOS	CONDICIÓN
Porcentaje de cemento Asfáltico	5,30 %	5,30 %	CUMPLE
Porcentaje de PET + SBS	4,50 %	4,50 %	CUMPLE
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	75	75	CUMPLE
estabilidad mínima (kg)	800	1318,99	CUMPLE
Flujo, 0.25mm(1/100")	MIN	MAX	13,44
	8	14	
porcentaje de vacíos (Va)	MIN	MAX	4,30
	3	5	
porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (VFA)	MIN	MAX	69,91
	65	75	
porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA)	tabla de mínimo VMA	Valor Mín.	14,04 %
		14	
Estabilidad/Flujo	MIN	MAX	3924,55
	1700	4000	

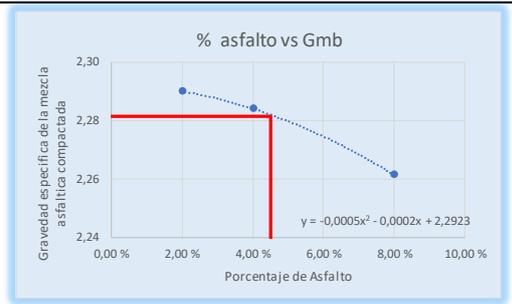
#### 4.- VALORES ÓPTIMOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON PET Y SBS

% PET + SBS	Porcentaje de Vacios de Aire:
<b>Ppet-sbs</b>	<b>Va</b>
2,00 %	3,75 %
4,00 %	4,12 %
8,00 %	5,15 %



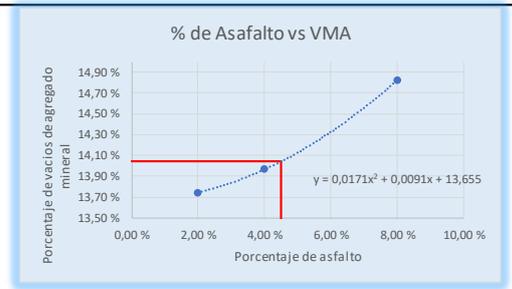
ÓPTIMO	
Porcentaje de vacios	Porcentaje de PET+SBS
<b>Va</b>	<b>4,30 %</b>
	<b>4,50 %</b>

% PET-SBS	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada
<b>Ppet-sbs.</b>	<b>Gmb</b>
2,00 %	2,290
4,00 %	2,284
8,00 %	2,261



ÓPTIMO	
Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	Porcentaje de PET+SBS
<b>Gmb</b>	<b>2,281</b>
	<b>4,50 %</b>

% -PET-SBS	Porcentaje de vacios de agregado mineral
<b>Ppet-sbs</b>	<b>VMA</b>
2,00 %	13,74 %
4,00 %	13,97 %
8,00 %	14,82 %



ÓPTIMO	
Porcentaje de vacios de agregado mineral	Porcentaje de PET+SBS
<b>VMA</b>	<b>14,04 %</b>
	<b>4,50 %</b>

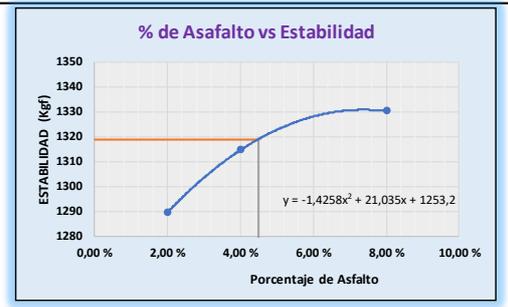
% PET-SBS	porcentaje de vacios llenados con asfalto
<b>Ppet-sbs</b>	<b>VFA</b>
2,00 %	72,72 %
4,00 %	70,50 %
8,00 %	65,27 %



ÓPTIMO	
Porcentaje de vacios de agregado mineral	Porcentaje de PET+SBS
<b>VFA</b>	<b>69,91 %</b>
	<b>4,50 %</b>



% PET-SBS	ESTABILIDAD
Ppet-sbs.	
2,00 %	1289,53
4,00 %	1314,49
8,00 %	1330,20



ÓPTIMO	
ESTABILIDAD	Porcentaje de PET+SBS
1319,0	4,50 %

%PET-SBS	FLUJO
Ppet-sbs.	
2,00 %	12,53
4,00 %	13,20
8,00 %	16,00



ÓPTIMO	
FLUJO	Porcentaje de PET+SBS
13,44	4,50 %

5.- CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO ÓPTIMO CON PET-SBS

DESCRIPCIÓN	ABREV.	RESULTADOS
Porcentaje de PET + SBS	F.A.	4,50 %
Porcentaje de Vacíos	Va	4,30
Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada	Gmb	2,281
Porcentaje de vacíos de agregado mineral	VMA	14,04 %
porcentaje de vacíos llenados con asfalto	VFA	69,91 %
<b>ESTABILIDAD</b>		1319,0
<b>FLUJO</b>		13,44
ESTABILIDAD/FLUJO (kg/cm)		3924,55

Comparativa.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**COMPARATIVA DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA**

**TESIS** : ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022

**PRESENTADO** : Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO  
Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA

**UBICACIÓN** : Perú - Puno

**1.- CUADRO COMPARATIVO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA**

% C.A.	% PET Y PET-SBS	Gravedad específica Neta del Agregado			Gravedad específica efectiva del agregado:			Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica:		
		Gsb			Gse			Gmm		
		Convencional	PET	PET-SBS	Convencional	PET	PET-SBS	Convencional	PET	PET-SBS
5,30 %	2 %				2,567	2,569		2,378	2,379	
	4 %	2,514	2,510	2,509	2,565	2,570	2,573	2,376	2,380	2,382
	8 %		2,505	2,503		2,573	2,575		2,383	2,384

% C.A.	% PET Y PET-SBS	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada:			Porcentaje de Vacíos de Aire:		
		Gmb			Va		
		Convencional	PET	PET-SBS	Convencional	PET	PET-SBS
5,30 %	2 %		2,288	2,290		3,77 %	3,75 %
	4 %	2,291	2,281	2,284	3,56 %	4,16 %	4,12 %
	8 %		2,257	2,261		5,27 %	5,15 %

% C.A.	% PET Y PET-SBS	Porcentaje de vacíos de agregado mineral:			porcentaje de vacíos llenados con asfalto:			Absorción del asfalto:			Contenido de asfalto efectivo:		
		VMA			VFA			Pba			Pbe		
		Convencional	PET	PET-SBS	Convencional	PET	PET-SBS	Convencional	PET	PET-SBS	Convencional	PET	PET-SBS
5,30 %	2 %		13,82 %	13,74 %		72,74 %	72,72 %		0,88 %	0,91 %		4,47 %	4,43 %
	4 %	13,685	14,07 %	13,97 %	74,021	70,45 %	70,50 %	0,810	0,96 %	1,01 %	4,533	4,39 %	4,34 %
	8 %		14,98 %	14,82 %		64,81 %	65,27 %		1,09 %	1,14 %		4,27 %	4,22 %

% C.A.	% PET Y PET-SBS	FLUJO			ESTABILIDAD		
		Convencional	PET	PET-SBS	Convencional	PET	PET-SBS
5,30 %	2 %		12,67	12,53		1235,21	1289,53
	4 %	12,9	13,27	13,20	1287,30	1308,64	1314,49
	8 %		16,33	16,00		1326,09	1330,20

## Comparativa de mezcla asfáltica convencional y modificada

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

COMPARATIVA DE MEZCLA ASFALTICA CONVECCIONAL Y MODIFICADA

**TESIS** : ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022

**PRESENTADO** : Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO  
Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA

**UBICACIÓN** : Perú - Puno

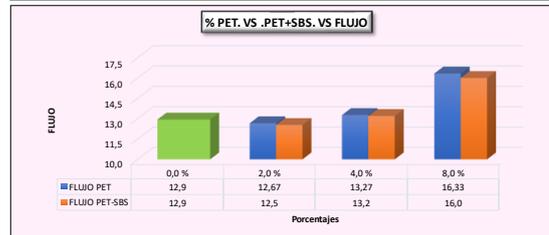
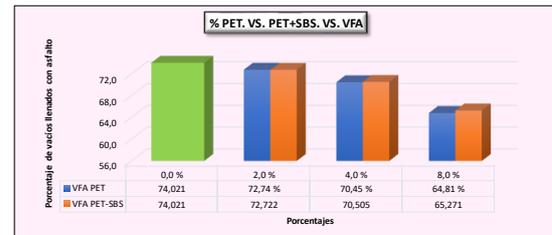
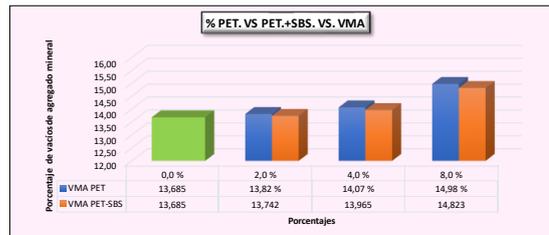
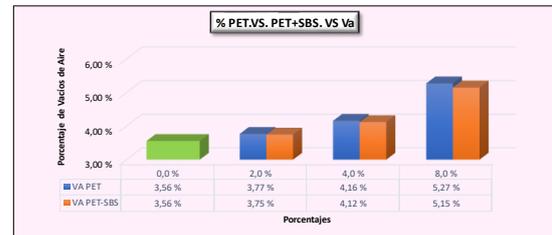
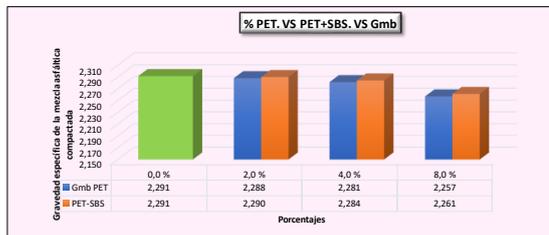
### 1.- CUADRO DE RESUMEN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA

% C.A.	%PET Y PET+SBS	Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada			Porcentaje de Vacíos de Aire		
		Gmb			Va		
		CONV	PET	PET-SBS	CONV	PET	PET-SBS
5,30 %	2 %		2,288	2,290		3,77 %	3,75 %
	4 %	2,291	2,281	2,284	3,56 %	4,16 %	4,12 %
	8 %		2,257	2,261		5,27 %	5,15 %

% C.A.	%PET Y PET+SBS	Porcentaje de vacíos de agregado mineral			Porcentaje de vacíos llenados con asfalto		
		VMA			VFA		
		CONV	PET	PET-SBS	CONV	PET	PET-SBS
5,30 %	2 %		13,82 %	13,74 %		72,74 %	72,72 %
	4 %	13,685	14,07 %	13,97 %	74,021	70,45 %	70,50 %
	8 %		14,98 %	14,82 %		64,81 %	65,27 %

% C.A.	%PET Y PET-SBS	FLUJO			ESTABILIDAD		
		CONV	PET	PET-SBS	CONV	PET	PET-SBS
		2 %		12,67	12,53		1235,21
4 %	12,9	13,27	13,20	1287,30	1308,64	1314,49	
8 %		16,33	16,00		1326,09	1330,20	

### 2.- GRÁFICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA



## Resultados

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

---

**MEZCLA ASFÁLTICA CONVECCIONAL Y MODIFICADA**

---

**TESIS** : ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVECCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO - 2022

**PRESENTADO** : Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO  
Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA

**UBICACIÓN** : Perú - Puno

### 1.- CUADRO DE RESUMEN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVECCIONAL Y MODIFICADA - ÓPTIMO

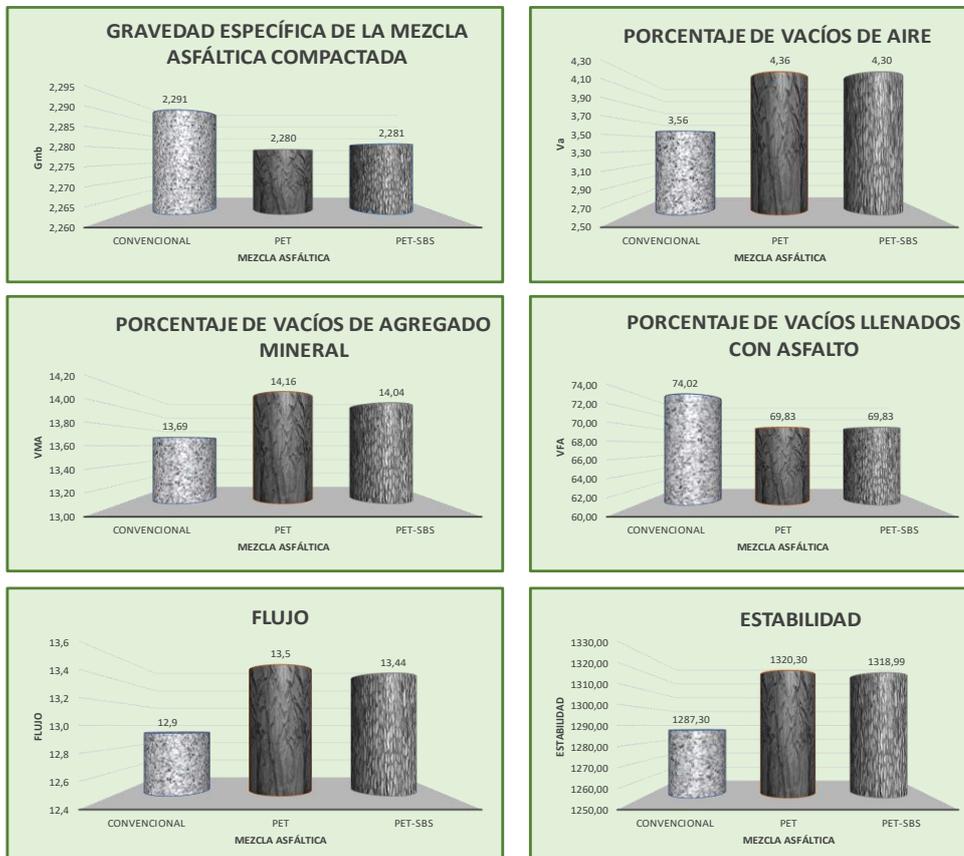
PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO	5,30 %
PORCENTAJE DE PET	4,50 %
PORCENTAJE DE PET + SBS	4,50 %

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA			PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE		
G <sub>mb</sub>			V <sub>a</sub>		
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE			MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE		
CONVECCIONAL	PET	PET-SBS	CONVECCIONAL	PET	PET-SBS
2,291	2,280	2,281	3,56 %	4,36 %	4,30 %

PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO MINERAL			PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON ASFALTO		
VMA			VFA		
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE			MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE		
CONVECCIONAL	PET	PET-SBS	CONVECCIONAL	PET	PET-SBS
13,69 %	14,16 %	14,04 %	74,02 %	69,83 %	69,83 %

FLUJO			ESTABILIDAD		
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE			MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE		
CONVECCIONAL	PET	PET-SBS	CONVECCIONAL	PET	PET-SBS
12,9	13,51	13,44	1287,30	1320,30	1318,99

### 2.- GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVECCIONAL Y MODIFICADA - ÓPTIMO



## ANEXO 4: Panel fotográfico



*Fotografía 1. Obtención de material de adición.*



*Fotografía 2. Ensayo de granulometría*



*Fotografía 3. ensayo de abrasión*



*Fotografía 4. Ensayo de caras fracturadas*



*Fotografía 5. Ensayo de partículas chatas y alargadas*



*Fotografía 6. elaboración de probetas de asfalto*



*Fotografía 7. ensayo de RICE*



*Fotografía 8. Ensayo de gravedad específica*



*Fotografía 9. Ensayo de estabilidad*



*Fotografía 10. Ensayo de flujo*

## ANEXO 5: Especificaciones técnicas de polímeros



### PROPIEDADES FISICAS POLITEREFTARATO DE ETILENO (PET)

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color		Natural	BL/Ne
Densidad	1183	g/cm <sup>3</sup>	1,39
<b>Absorcion de agua:</b>			
despues de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	6-13
	62	%	0,07/0,16
hasta la saturacion en aire a 23°C / 50% HR		%	0,25
hasta la saturacion en aire a 23°C		%	0,5
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>			
Temperatura de Fusion		°C	255
Conductividad termica a 23°C		W/(K-m)	0,29
<b>Coefficiente de dilatacion termica lineal:</b>			
-Valor medio entre 23 y 60 °C		m/(m-K)	60-10 <sup>-6</sup>
-Valor medio entre 23 y 100°C		m/(m-K)	80-10 <sup>-6</sup>
<b>Temperatura por deformacion por carga:</b>			
-por metodo A: 1,8MPa	75	°C	75
<b>Temperatura maxima de servicio en aire:</b>			
-en periodos cortos		°C	160
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100
<b>Temperatura minima de servicio</b>			-20
Inflamabilidad			
-Indice de oxigeno	4589	%	25
-con respecto a la clasificacion UL 94 (para 3/6 mm de espeso)			HB/HB
<b>PROPIEDADES MECANICAS A 23°C</b>			
<b>Ensayo de tracción</b>			
-esfuerzo de tension para fluencia	527	MPa	90
-elongacion a la rotura			15
-modulo de elasticidad			3.700
<b>Ensayo de compresion</b>			
-esfuerzo al 1/2/5% de deformación	604	MPa	26/51/103
<b>Ensayo de fluencia a traccion</b>			
-esfuerzo necesario para producir un 1% de deformación las 1.000h	899	Mpa	26
Resistencia al impacto Charpy-sin entalla	179/1eU	kJ/m2	≥50
Resistencia al impacto Charpy-con entalla	179/1eU	kJ/m2	2
Resistencia al impacto Izod- con entalla	180/2A	kJ/m2	2
Dureza con bola	2039-1	N/mm2	170
Dureza Rockwell	2039-2		M96
<b>PROPIEDADES ELECTRICAS A 23°C</b>			
Resistencia dielectrica	60243	KV/mm	22
Resistividad volumetrica	60093	Ω-cm	>10 <sup>15</sup>
Resistividad superficial		Ω	>10 <sup>15</sup>
<b>Permeabilidad relativa</b>			
-a 100 Hz	60250		3,4
-a 1 Hz	60250		3,2
<b>Factor de perdidas dielectricas a</b>			
-a 100 Hz	60250		0,001
-a 1 MHz	60250		0,014
Indice comparativo de la resistencia a la descarga superficial (CTI)	60112		600

Passatge dels Rosers s/n Nave C ( Cornellia de Ll. ) Tel. 93/473-48-03 Fax. 93/473-35-87 Email: info@elaplas.es



## ANEXO 6: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico



INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 120/150 PEN) N° GDCN-LAB-1687-2022

FECHA DE REPORTE: 20.08.2022	FECHA DE RECEPCIÓN 19.08.2022	CÓDIGO DE MUESTRA : 14180		
HORA DE RECEPCIÓN: 17:25 HORAS	PROCEDENCIA: JEFATURA OPERACIONES	BUQUE/TANQUE: -----		
TANQUE DE MUESTREO : 47	VOLUMEN DE PRODUCTO: MB -----	DESTINO: PLANTA CONCHÁN		
ENSAYOS	MÉTODO ASTM <sup>(A)</sup>	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIONES	
			MIN.	MAX.
<b>PENETRACIÓN:</b>				
a 25°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D5/D5M-20	128	120	150
<b>DUCTILIDAD:</b>				
a 25°C, 5 cm/min, cm	D113-17	>150	100	
<b>FLUIDEZ:</b>				
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D2170/D2170M-18	2055	Reportar	
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D2170/D2170M-18	210.6	140	
<b>SOLUBILIDAD:</b>				
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	D 2042-20	99.7	99	
<b>VOLATILIDAD:</b>				
Punto de Inflamación, C.O.C., °C	D92-18	270	218	
<b>DENSIDAD:</b>				
Gravedad API a 60°F, °API	D 70-18a	7.9	Reportar	
Gravedad Específica a 60/60°F	D 70-18a	1.025	Reportar	
<b>SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:</b>				
Punto de Ablandamiento, °C	D36-14e1	43.0	Reportar	
Índice de Penetración		-0.6	-1	1
Efecto de Calor y Aire (Película Fina):	D1754-09(2014)			
- Pérdida por calentamiento, % masa		0.18		1.3
- Penetración Retenida, % del Original	D5/D5M-20	61	42	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D113-17	>150	100	
<b>OBSERVACIONES:</b>				
1. Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada.				
2. La muestra fue proporcionada por el cliente.				
La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 129 y 142°C				
Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura.				
3.(A) American Society for Testing and Materials				
ORIGINAL : CLIENTE	ELABORADO POR:  FICHA: 59171	APROBADO POR:  FRANKY BERMEJOS CHOCQUE J9137		
COPIA 1 : ARCHIVO GENERAL DE INFORMES DE ENSAYO				
COPIA 2 : INFORME DE ENSAYO DE PRODUCTOS				

GDCNLAB-PG-015-F-02, Rev. 7

Pag 1 de 2

----- FIN DE INFORME -----  
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERÚ

Gerencia Departamento Refinación Conchán  
Panamericana Sur km 26,5 - Lurín  
Central telefónica: (511) 625-4000 / (511) 315-6330  
Portal empresarial: www.petroperu.com.pe



/petroperu

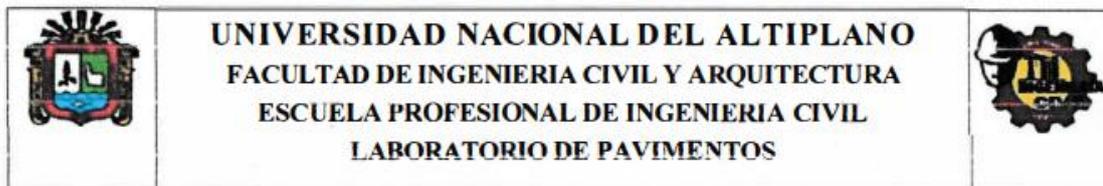
@petroperu\_sa

/canalpetroperu

/petroperu



## ANAXO 7: CONSTANCIAS DE LABORATORIOS



### CONSTANCIA DE USO DE EQUIPOS DE LABORATORIO DE PAVIMENTOS

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE PAVIMENTOS FICA**

**Hace constar:**

Que los Tesistas, Bach. MICHAEL ANDERON MESTAS CENTENO y Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA, hicieron uso de los equipos del Laboratorio de Pavimentos -FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: " ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFTALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022 ". Conducentes a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos que realizaron son los siguientes.

ÍTEM	ENSAYOS	CANTIDAD	U.M.
1	ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ROTURA DE BRIQUETA (NORMA MTC E-504)	30	Und.

*Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del laboratorio de pavimentos*

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.

Puno, C. U. de Agosto del 2023.

  
 Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arapa  
 DOCENTE UNIVERSITARIO  
 COD. UNA N° 2170515

**ING. SILVIA LEONOR INGALUQUE ARAPA**  
**Jefe del Laboratorio de Pavimentos FICA**

Cc.  
Arch /LP



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**CONSTANCIA DE USO DE EQUIPOS DE LABORATORIO  
DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES**

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS Y MATERIALES DE LA FICA**

**Hace constar:**

Que los tesisistas, **Bach. MICHAEL ANDERSON MESTAS CENTENO** y **Bach. OSCAR ARTURO VILCA CCOA**, hicieron uso de los equipos del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales - FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: "**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMEROS Y TEREFTALATO DE POLIETILENO USANDO AGREGADOS DE CANTERA CABANILLA, PUNO 2022**". Conducentes a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos que realizaron son los siguientes:



*[Firma manuscrita]*  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. *[Nombre]*



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS

ÍTEM	ENSAYOS	NORMA	CANTIDAD	U.M.
01	Análisis Granulométrico por Lavado	ASTM D-421	01	Und.
02	Gravedad Especifica de Suelos Global (piedra chancada, Gravas y Finos)	ASTM D-854/C127	01	Und.
03	Ensayo de abrasión en agregado menos de 1½"	ASTM C-131	01	Und.
04	Equivalente de arena	ASTM D 2419	01	Und.
05	Azul de Metileno	AASTHO T 57	01	Und.
06	Caras Fracturadas	ASTM D5821-13	01	Und.
07	Sales solubles totales en agua	MTC E 219	02	Und.
08	Partículas Chatas y Alargadas	ASTM D4791-10	01	Und.
09	Elaboración de briquetas de Asfalto	MTC E 504	30	Und.

*Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.*

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.

**Puno, C. U. 17 de noviembre del 2023**



C.c.  
Arch./LMSyM.



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo MICHAEL ANDERSON MESTAS CANTENO  
, identificado con DNI 77391878 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL  
, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MERCADO REPUBLICANA EN CLIENTES CONVENCIONAL

Y MODIFICADA CON PLIEGOS Y TENDIDOS DE PUÉRTAS CUANDO OPERAN VECTORES  
" Es un tema original. CORINTO VILARINO - 2022

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 27 de NOVIEMBRE del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo OSCAR ARTURO VELCA COO  
, identificado con DNI 70274391 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL  
, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MEZCLA

ASFALTECA EN CAJENTE CONVECCIONA Y MODIFICADO CON POLIMEROS Y  
" Es un tema original. TESIS TÍTULO DE POLITECNICO USANDO REPEGADOS DE CONTRA CARBURA  
PUNO - 2022

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 27 de NOVIEMBRE del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo MICHAEL ANDRÉS MESTAS CORTIÑO  
, identificado con DNI 77591878 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"ANÁLISIS COMPLEJO DE DISEÑO DE MERCADERÍA EN EL COMERCIO CONSUMIDORA MODERNA  
CON DIVERSIDAD Y TENDENCIA DE AVANCE EN EL SECTOR DE COMERCIO POR  
REDES"

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de NOVIEMBRE del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Oscar Arturo Vaca Cón  
identificado con DNI \_\_\_\_\_ en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERO CIVIL  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MECANICA ASSEALICA EN CASOS DE CONVERGENCIA Y DIVERGENCIA CON ROULEMEOS Y TRABAJO DE PUNTEO EN UNO DE LOS EJEMPLOS DE CONVERGENCIA"

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de NOVIEMBRE del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella