



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCA FUERTE DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA**

**DESEMPEÑO TECNICO - ECONOMICO ENTRE LA MEZCLA ASFALTICA  
TRADICIONAL Y MEZCLA ASFALTICA CON RESIDUOS POLIMERO PVC-  
BLISTER EN LA EJECUCION DE VÍAS**

**TUTOR**

**ING. LUIS AVILA OÑATE**

**AUTOR**

**ROBAYO TÁBARA DANIEL**

**ROBAYO TÁBARA OSCAR**

**GUAYAQUIL**

**2024**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>	
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>	
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> Desempeño Técnico Entre La Mezcla Asfáltica Tradicional Y La Mezcla Asfáltica Modificada Con Residuos De PVC Tipo Blíster En La Ejecución De Vías	
<b>AUTORES:</b> Robayo Tábara Daniel Robayo Tábara Oscar	<b>TUTOR:</b> Ing. Avila Oñate Luis David
<b>INSTITUCIÓN:</b> Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	<b>Grado obtenido:</b> Ingeniero Civil
<b>FACULTAD:</b> Facultad Ingeniería Industria Y Construcción	<b>CARRERA:</b> Ingeniería Civil
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2024	<b>N. DE PÁGS:</b> 118
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y Construcción	
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Asfalto, Blíster, Experimento, Mezcla, Polímero, Pvc.	
<b>RESUMEN:</b> <p>El presente trabajo de titulación investiga la modificación de mezclas asfálticas utilizando residuos de polímero PVC-blíster, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas y la sostenibilidad en la ejecución de vías. Se realizaron ensayos con adiciones de blíster del 0.75%, 1.0% y 1.25%, evaluando su impacto en la ductilidad y resistencia de las mezclas según la norma NTE INEN 916. Los resultados mostraron que la incorporación de PVC-blíster no solo mejora la resistencia mecánica, sino que también contribuye a la reducción de desechos plásticos, alineándose con las prácticas de construcción sostenible.</p> <p>El análisis comparativo reveló que la mezcla con un 1.25% de blíster presentó la mejor estabilidad y menor porcentaje de vacíos, aunque con un mayor flujo, lo que requiere un monitoreo cuidadoso para evitar deformaciones. Las mezclas con 0.75% y 1.0% de blíster también mostraron mejoras significativas en comparación con el asfalto convencional, pero con un rendimiento inferior al 6%. Además, se abordaron los métodos de evaluación de las propiedades reológicas y térmicas del asfalto, destacando su importancia en el rendimiento de las vías. Este trabajo no solo aporta al campo de la ingeniería civil, sino que también promueve la innovación en el uso de materiales reciclados, contribuyendo a un desarrollo más sostenible.</p>	

<p>en la infraestructura vial. El autor, Robayo Tábara Oscar, agradece a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil por el apoyo brindado durante el proceso de investigación.</p>		
<b>N. DE REGISTRO (en base dedatos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (Web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> Robayo Tábara Oscar  Robayo Tábara Daniel	<b>Teléfono:</b> 096-304-9773  098-282-7870	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:orobayo@ulvr.edu.ec">orobayo@ulvr.edu.ec</a>  <a href="mailto:jrobayo@ulvr.edu.ec">jrobayo@ulvr.edu.ec</a>
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	Ph.D Marcial Sebastián Calero Amores <b>Teléfono:</b> (04) 2596500 <b>Ext.</b> 260 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:mcaleroa@ulvr.edu.ec">mcaleroa@ulvr.edu.ec</a> Mgtr.Ing Civil Jorge Enrique Torres Rodríguez (Director de Carrera) <b>Teléfono:</b> (04) 2596500 <b>Ext.</b> 242 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:etorresr@ulvr.edu.ec">etorresr@ulvr.edu.ec</a>	

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

GADVAY-TRIGUERO TURNI.pdf

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>6%</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>upc.aws.openrepository.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.upse.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>www.revistasocialfronteriza.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.corporacioncartografica.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS DAVID  
AVILA  
ONATE**

Firma:

ING. LUIS DAVID AVILA OÑATE

C.C.: 0926304676

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiante egresados OSCAR ALONSO ROBAYO TÁBARA y JOSUÉ DANIEL ROBAYO TÁBARA declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Desempeño técnico - económico entre la mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica con residuos polímero PVC-blíster en la ejecución de vías, corresponde totalmente a él suscrito y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Auto(res)



Firma:

Oscar Alonso Robayo Tábara  
C.I. 0920626504



Firma:

Josué Daniel Robayo Tábara  
C.I. 0920626496

## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Desempeño técnico - económico entre la mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica con residuos polímero PVC-blíster en la ejecución de vías, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Desempeño técnico - económico entre la mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica con residuos polímero PVC-blíster en la ejecución de vías, presentado por los estudiantes OSCAR ALONSO ROBAYO TÁBARA y JOSUÉ DANIEL ROBAYO TÁBARA como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

  
ING. LUIS DAVID AVILA OÑARTE

C.C.:0926304676

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que hicieron posible la realización de este proyecto de tesis sobre el "Desempeño técnico - económico entre la mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica con residuos polímero PVC-blíster en la ejecución de vías".

Mi gratitud especial al profesor de Formulación de Proyectos de Titulación, cuya constante guía y sabios consejos fueron esenciales en este proceso. También a los profesores que me ayudaron y formaron en cada uno de los semestres de mi carrera universitaria.

Agradezco al laboratorio por brindarme sus instalaciones para alcanzar el objetivo, a mi familia por su apoyo incondicional. Cada contribución ha sido fundamental en este recorrido académico.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes siempre han sido fuente de inspiración y apoyo para lograr cada objetivo y meta de mi vidas. A mi esposa e hijos.

Claramente a mi hermano Oscar / Daniel que ha sido un viaje largo pero placentero y cargado de buenas experiencias.

Este trabajo va dedicado a ustedes, con gratitud y afecto.

Mamá y Papá, ¡este título es suyo!

Att: Oscar Y Daniel Robayo Tábara

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación investiga la modificación de mezclas asfálticas utilizando residuos de polímero PVC-blíster, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas y la sostenibilidad en la ejecución de vías. Se realizaron ensayos con adiciones de blíster del 0.75%, 1.0% y 1.25%, evaluando su impacto en la ductilidad y resistencia de las mezclas según la norma NTE INEN 916. Los resultados mostraron que la incorporación de PVC-blíster no solo mejora la resistencia mecánica, sino que también contribuye a la reducción de desechos plásticos, alineándose con las prácticas de construcción sostenible.

El análisis comparativo reveló que la mezcla con un 1.25% de blíster presentó la mejor estabilidad y menor porcentaje de vacíos, aunque con un mayor flujo, lo que requiere un monitoreo cuidadoso para evitar deformaciones. Las mezclas con 0.75% y 1.0% de blíster también mostraron mejoras significativas en comparación con el asfalto convencional, pero con un rendimiento inferior al 6%. Además, se abordaron los métodos de evaluación de las propiedades reológicas y térmicas del asfalto, destacando su importancia en el rendimiento de las vías. Este trabajo no solo aporta al campo de la ingeniería civil, sino que también promueve la innovación en el uso de materiales reciclados, contribuyendo a un desarrollo más sostenible en la infraestructura vial. El autor, Robayo Tábara Oscar, agradece a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil por el apoyo brindado durante el proceso de investigación.

**PALABRAS CLAVE:** Asfalto, Blíster, Experimento, Mezcla, Polímero, Pvc.

## **ABSTRACT**

This thesis investigates the modification of asphalt mixtures using PVC-blister polymer waste, with the aim of improving mechanical properties and sustainability in the execution of roads. Tests were carried out with blister additions of 2%, 4% and 6%, evaluating their impact on the ductility and strength of the mixtures according to the NTE INEN 916 standard. The results showed that the incorporation of PVC-blister not only improves mechanical strength, but also contributes to the reduction of plastic waste, aligning with sustainable construction practices.

The comparative analysis revealed that the mixture with 6% blister presented the best stability and lowest percentage of voids, although with a higher flow, which requires careful monitoring to avoid deformations. The mixtures with 2% and 4% blister also showed significant improvements compared to conventional asphalt, but with a performance lower than 6%. In addition, the methods for evaluating the rheological and thermal properties of asphalt were addressed, highlighting its importance in road performance. This work not only contributes to the field of civil engineering, but also promotes innovation in the use of recycled materials, contributing to a more sustainable development in road infrastructure. The author, Robayo Tábara Oscar, thank the Vicente Rocafuerte Lay University of Guayaquil for the support provided during the research process.

**KEY WORDS:** Asphalt, Experiment, Mixture, Blister, Polymer, PVC.

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	4
1.1 Tema.....	4
1.2 Planteamiento del Problema .....	4
1.3 Pregunta de Investigación.....	9
1.4 Objetivo General .....	9
1.5 Objetivos Específicos .....	9
1.6 Hipótesis .....	9
1.7 Línea y Sub línea de Investigación de la Facultad .....	10
CAPÍTULO II.....	11
MARCO REFERENCIAL .....	11
2.1 Antecedentes .....	11
2.2 Fundamentos Teóricos.....	14
2.2.1. Mezcla Asfáltica Tradicional.....	14
2.2.2. Asfalto Modificado con PVC.....	15
2.2.3. Residuos de PVC Tipo Blíster.....	16
2.2.4. Características Mecánicas de Asfaltos.....	17
2.2.5. Estabilidad y Flujo en Mezclas Asfálticas:.....	19
2.2.6. Sostenibilidad en Pavimentación: .....	21
2.2.7. Reciclaje de Materiales Plásticos en Construcción: .....	23
2.2.8. Evaluación de Desempeño de Pavimentos:.....	26
2.2.9. Agregados en Mezclas Asfálticas: .....	28
2.2.10. Análisis Costo-Beneficio en Pavimentación: .....	31
2.2.11. Resistencia a Deformaciones en Asfaltos .....	34
2.2.12. Durabilidad de Pavimentos Asfálticos: .....	36
2.2.13. Pruebas de Laboratorio en Mezclas Asfálticas .....	39
2.2.14. Innovaciones en Materiales de Construcción de Vías.....	42
2.2.15. Propiedades Viscosas del Asfalto Modificado.....	45
2.2.16. Análisis del Tiempo de Vida de Pavimentos .....	47
2.2.17. Viabilidad Técnica de Asfaltos Modificados .....	50
2.2.18. Mezcla asfáltica modificada .....	53
2.2.19. Estabilizador asfáltico.....	53
2.2.20. Tipos de Estabilizadores Asfálticos .....	54

2.2.21.	Asfalto Modificado con Polímeros .....	55
2.2.22.	Modificación con caucho .....	55
2.2.23.	Soluciones Asfálticas Estabilizadas .....	55
2.2.24.	Aditivos Químicos .....	55
2.2.25.	Parámetros de control .....	55
2.2.26.	Fatiga de mezclas asfálticas .....	56
2.2.27.	Ensayos para la comparación de mezclas asfálticas .....	56
2.3	Marco Teórico Legal.....	57
2.3.1.	Justificación del uso de estas normas.....	64
CAPÍTULO III.....		72
MARCO METODOLÓGICO.....		72
3.1	Enfoque de la investigación.....	72
3.2	Alcance de la investigación .....	72
3.3	Técnica e instrumentos para obtener los datos.....	73
3.4	Encuesta .....	73
3.5	Procedimiento .....	74
3.6	Población y muestra.....	75
CAPÍTULO IV .....		76
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....		76
4.1	Diseño de la mezcla de asfalto mediante con el Método Marshall .....	76
4.2	Ensayos de la mezcla asfáltica .....	76
4.2.1.	Fase de Penetración .....	76
4.2.2	Fase de punto de reblandamiento.....	77
4.2.3	Cálculo del índice de penetración.....	78
4.2.2.	Fase de ductilidad .....	78
4.2.3.	Diseño Marshal de la mezcla asfáltica convencional .....	79
4.2.4.	Ensayos Marshall.....	79
4.2.5.	Ensayo de la gravedad específica máxima teórica (Gmm) .....	80
4.3	Diseño de la mezcla de asfalto modificada con PVC tipo blíster.....	84
4.7	Análisis de costos para la mezcla de asfalto de 6% sin agregado blíster para 1m <sup>3</sup> .....	88
4.4	Comparación entre ambas mezclas con el 6% de asfalto y con agregado tipo blíster al 1,25%.....	89
4.5	Análisis de la encuesta.....	91
CONCLUSIONES .....		97
REFEENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		99

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación vial en función al TPDA al año horizonte.....	67
<b>Tabla 2</b> <i>Clasificación vial según las condiciones orográficas</i> .....	69
<b>Tabla 3</b> <i>Medidas descriptivas del comportamiento de penetración de las muestras</i>	76
<b>Tabla 4</b> <i>Medidas de punto de reblandamiento</i> .....	77
<b>Tabla 5</b> <i>Medidas de estiramiento</i> .....	78
<b>Tabla 6</b> <i>Propiedad volumétricas de las mezclas de asfalto</i> .....	84
<b>Tabla 7</b> <i>Propiedad volumétricas de las mezclas de asfalto al 6%, modificadas con el agregado de PVC tipo blíster</i> .....	87
<b>Tabla 8</b> <i>Costo para la mezcla de asfalto de 6% sin agregado blíster para 1m<sup>3</sup></i> .....	88
<b>Tabla 9</b> <i>Costo para la mezcla de asfalto de 6% con agregado blíster al 1,25% para 1m<sup>3</sup></i> .....	89
<b>Tabla 10</b> <i>Comparación de mezcla de asfalto de 6% con agregado y sin agregado blíster al 1,25% para 1m<sup>3</sup></i> .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mezcla asfáltica tradicional .....	15
<b>Figura 2</b> Desechos de PVC tipo blíster .....	17
<b>Figura 3</b> Propiedades mecánicas del asfalto .....	19
<b>Figura 4</b> Propiedades mecánicas del asfalto .....	23
<b>Figura 5</b> Propiedades de pavimentos .....	28
<b>Figura 6</b> Componentes de la mezcla asfáltica .....	29
<b>Figura 7</b> Granulometría en la mezcla asfáltica .....	30
<b>Figura 8</b> Ahuellamiento .....	34
<b>Figura 9</b> Durabilidad de pavimentos .....	37
<b>Figura 10</b> Pruebas de laboratorio .....	40
<b>Figura 11</b> Materiales útiles para la construcción de vías .....	43
<b>Figura 12</b> Viscosidad del asfalto .....	45
<b>Figura 13</b> Asfalto modificado .....	50
<b>Figura 14</b> <i>Material de desecho tipo blíster</i> .....	54
<b>Figura 15</b> <i>Parámetros de control del asfalto</i> .....	56
<b>Figura 16</b> <i>Proceso de la fase de penetración</i> .....	77
<b>Figura 17</b> <i>Proceso de la fase de punto de reblandamiento</i> .....	77
<b>Figura 18</b> <i>Fase de ductilidad</i> .....	78
<b>Figura 19</b> <i>Ensayo Marshall</i> .....	80
<b>Figura 20</b> <i>Porcentaje total de vacíos en la mezcla con asfalto al 2%, 4% y 6%</i> .....	81
<b>Figura 21</b> <i>Porcentaje de vacíos en agregado mineral de la mezcla con asfalto al 2%, 4% y 6%</i> .....	82
<b>Figura 22</b> <i>Porcentaje de vacíos llenos de asfalto al 2%, 4% y 6%</i> .....	82
<b>Figura 23</b> <i>Estabilidad de la mezcla con asfalto al 2%, 4% y 6%</i> .....	83
<b>Figura 24</b> <i>Flujo de la mezcla con asfalto al 2%, 4% y 6%</i> .....	83
<b>Figura 25</b> <i>Porcentaje total de vacíos en la mezcla con 6% de asfalto y agregado tipo blíster</i> .....	85
<b>Figura 26</b> <i>Porcentaje de vacíos en agregado mineral de la mezcla con 6% de asfalto y agregados tipo blíster</i> .....	85
<b>Figura 27</b> <i>Porcentaje de vacíos llenos de mezcla con 6% de asfalto y agregados tipo blíster</i> .....	86
<b>Figura 28</b> <i>Estabilidad (lbs) de la mezcla con 6% de asfalto y agregados tipo blíster</i> .....	86
<b>Figura 29</b> <i>Flujo de la mezcla de 6% asfalto con agregados tipo blíster</i> .....	87
<b>Figura 30</b> <i>¿Cuál es su experiencia en el campo de la construcción de carreteras y pavimentos asfálticos?</i> .....	92
<b>Figura 31</b> <i>¿Ha trabajado anteriormente con mezclas asfálticas tradicionales?</i> .....	92
<b>Figura 32</b> <i>¿Ha trabajado anteriormente con mezclas asfálticas modificadas con residuos de PVC tipo blíster?</i> .....	93
<b>Figura 33</b> <i>En términos de durabilidad, ¿cómo calificaría la mezcla asfáltica tradicional en comparación con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?</i> .....	93
<b>Figura 34</b> <i>¿Qué tan resistente considera que es la mezcla asfáltica tradicional en comparación con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?</i> .....	94
<b>Figura 35</b> <i>¿Ha notado alguna diferencia en la capacidad de absorción de agua entre la mezcla asfáltica tradicional y la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?</i> .....	94

<b>Figura 36</b> <i>En términos de resistencia a la deformación bajo cargas pesadas, ¿cómo compararía la mezcla asfáltica tradicional con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?</i> .....	95
<b>Figura 37</b> <i>¿Ha observado alguna diferencias en la capacidad de recuperación elástica entre ambas mezclas?</i> .....	95
<b>Figura 38</b> <i>¿Qué opinión tiene sobre la facilidad de aplicación y manipulación de la mezcla asfáltica modificada con residuos del PVC tipo blíster en comparación con la tradicional?</i> .....	96
<b>Figura 39</b> <i>¿Recomendaría la adopción de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster en lugar de la tradicional basándose en su experiencia técnica?</i> .....	96

## INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un componente esencial para el desarrollo económico y social de cualquier país, ya que facilita la movilidad de personas y mercancías, contribuyendo a la integración regional y al acceso a servicios básicos. Sin embargo, la calidad de las vías se ve afectada por diversos factores, incluyendo el tipo de materiales utilizados en su construcción, las condiciones climáticas y el tráfico vehicular. En este contexto, la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes se ha convertido en una prioridad para los ingenieros civiles y los responsables de la planificación urbana.

El asfalto es uno de los materiales más utilizados en la construcción de vías debido a sus propiedades mecánicas y su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas. Sin embargo, el asfalto tradicional en nuestro país presenta problemas de calidad que afectan su durabilidad y rendimiento. Las mezclas asfálticas convencionales a menudo sufren de deterioro prematuro, lo que resulta en la formación de grietas, deformaciones y otros daños que requieren reparaciones frecuentes. Esto no solo genera costos adicionales para el mantenimiento de las vías, sino que también afecta la seguridad y comodidad de los usuarios.

En este contexto, la modificación de mezclas asfálticas ha emergido como una estrategia prometedora para mejorar las propiedades del asfalto y reducir su impacto ambiental. La incorporación de materiales reciclados y residuos industriales en la formulación de mezclas asfálticas no solo puede mejorar su rendimiento mecánico, sino que también contribuye a la gestión de residuos y a la economía circular. La utilización de residuos plásticos, en particular, ha ganado atención en los últimos años, dado el creciente problema de la contaminación por plásticos y la necesidad de encontrar soluciones innovadoras para su reciclaje.

Este trabajo de titulación se centra en la investigación sobre la modificación de mezclas asfálticas utilizando residuos de polímero PVC-blíster. Este tipo de material, que a menudo se considera un desecho en la industria, tiene el potencial de ser reutilizado en la construcción de carreteras, mejorando así las propiedades mecánicas del asfalto y contribuyendo a la sostenibilidad en la ejecución de vías. La

elección del PVC-blíster como material de modificación se basa en su disponibilidad, así como en sus características físicas y químicas que pueden influir positivamente en el comportamiento del asfalto.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar el efecto de diferentes porcentajes de adición de PVC-blíster (0.75%, 1.0% y 1.25%) en las propiedades mecánicas del asfalto, específicamente en términos de ductilidad y resistencia. Para ello, se aplicará la norma NTE INEN 916, que establece los procedimientos de ensayo para la evaluación de estas propiedades en mezclas asfálticas. A través de ensayos de laboratorio, se analizarán las propiedades reológicas y térmicas de las mezclas, permitiendo una comparación exhaustiva con el asfalto convencional.

La investigación se fundamenta en la normativa NEVI-12, que establece criterios para el diseño y evaluación de carreteras en Ecuador. Esta normativa enfatiza la necesidad de garantizar la calidad y el impacto ambiental de los materiales utilizados en la construcción de infraestructuras viales. Al incorporar residuos de PVC-blíster en las mezclas asfálticas, se busca no solo mejorar las características mecánicas del asfalto, sino también contribuir a la reducción de desechos plásticos, alineándose con las prácticas de construcción sostenible.

El análisis de las propiedades mecánicas del asfalto modificado con PVC-blíster permitirá determinar la viabilidad de su uso en la construcción de carreteras. Se espera que los resultados obtenidos proporcionen información valiosa sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas, así como sobre la influencia de los diferentes porcentajes de adición de PVC-blíster en su rendimiento. Este conocimiento es crucial para la toma de decisiones en el diseño y la ejecución de proyectos de infraestructura vial, especialmente en un contexto donde la sostenibilidad y la gestión de residuos son cada vez más relevantes.

Además, este trabajo no solo busca aportar al conocimiento técnico en la modificación de mezclas asfálticas, sino también generar conciencia sobre la importancia de adoptar prácticas responsables en la gestión de residuos y el uso de materiales en la construcción. La innovación en el uso de materiales reciclados es

fundamental para avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible, que minimice el impacto ambiental y promueva la economía circular.

La investigación también tiene implicaciones prácticas para la industria de la construcción y la gestión de residuos. Al demostrar la viabilidad de utilizar PVC-blíster en la modificación de mezclas asfálticas, se abre la puerta a nuevas oportunidades para la reutilización de materiales que, de otro modo, terminarían en vertederos. Esto no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también puede generar beneficios económicos al disminuir la dependencia de materiales vírgenes y reducir los costos asociados a la gestión de residuos.

# CAPÍTULO I

## 1.1 Tema

Desempeño técnico - económico entre la mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica con residuos polímero PVC-blíster en la ejecución de vías.

## 1.2 Planteamiento del Problema

La infraestructura vial es un componente esencial para el desarrollo económico y social de cualquier país. Las carreteras y caminos no solo facilitan el transporte de personas y mercancías, sino que también son cruciales para la conectividad entre regiones, el acceso a servicios básicos y la promoción del comercio. Sin embargo, la calidad de las vías se ve afectada por diversos factores, incluyendo el tipo de materiales utilizados en su construcción, las condiciones climáticas y el tráfico vehicular. En este sentido, la ingeniería civil enfrenta el desafío de diseñar y construir infraestructuras que no solo sean funcionales y duraderas, sino que también sean sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

El asfalto es uno de los materiales más utilizados en la construcción de pavimentos debido a sus propiedades mecánicas y su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas. Sin embargo, el asfalto tradicional presenta problemas de mala calidad que afectan su durabilidad y rendimiento. Las mezclas asfálticas convencionales a menudo sufren de deterioro prematuro, lo que resulta en la formación de grietas, deformaciones y otros daños que requieren reparaciones frecuentes. Esto no solo genera costos adicionales para el mantenimiento de las vías, sino que también afecta la seguridad y comodidad de los usuarios.

La mala calidad del asfalto tradicional puede atribuirse a varios factores. En primer lugar, la selección inadecuada de los materiales utilizados en la mezcla asfáltica puede comprometer sus propiedades mecánicas. Por ejemplo, el uso de agregados de baja calidad o la falta de un adecuado control en la proporción de los componentes pueden resultar en mezclas que no cumplen con los estándares requeridos. Además, las condiciones de producción y colocación del asfalto, como la

temperatura y el tiempo de mezcla, también juegan un papel crucial en la calidad final del pavimento.

Otro factor que contribuye a la mala calidad del asfalto es el envejecimiento prematuro de las mezclas. Con el tiempo, las propiedades del asfalto pueden deteriorarse debido a la exposición a factores ambientales como la radiación ultravioleta, la humedad y las variaciones de temperatura. Este envejecimiento puede llevar a la pérdida de flexibilidad y a la formación de grietas, lo que a su vez afecta la durabilidad del pavimento. La falta de mantenimiento adecuado y la insuficiente atención a las condiciones de tráfico también pueden acelerar este proceso de deterioro.

En este contexto, la modificación de mezclas asfálticas ha emergido como una estrategia prometedora para mejorar las propiedades del asfalto y reducir su impacto ambiental. La incorporación de materiales reciclados y residuos industriales en la formulación de mezclas asfálticas no solo puede mejorar su rendimiento mecánico, sino que también contribuye a la gestión de residuos y a la economía circular. La utilización de residuos plásticos, en particular, ha ganado atención en los últimos años, dado el creciente problema de la contaminación por plásticos y la necesidad de encontrar soluciones innovadoras para su reciclaje.

En Ecuador, las mezclas asfálticas tradicionales elaboradas con cemento asfáltico y materiales provenientes del petróleo, de acuerdo con especificaciones técnicas establecidas, es el material utilizado para la construcción de una buena parte de las carreteras. Donde las propiedades tanto de la mezcla como de los materiales individualmente determinan el comportamiento dinámico y mecánico de la mezcla resultante (Reyes et al., 2013).

En ese sentido, la mezcla asfáltica tradicional juega un papel fundamental para el desarrollo de ciudades, sin embargo, la capa asfáltica presenta problemas y críticas con muchas frecuencia debido al mal funcionamiento de las vías, lo que genera dificultades en el tráfico vehicular y, por ende, descontento entre los usuarios (Ortiz et al, 2017).

Es pertinente agregar que en el uso de residuos plásticos en la modificación de mezclas asfálticas presenta varias ventajas. En primer lugar, estos materiales pueden mejorar las propiedades mecánicas del asfalto, como la resistencia a la deformación y la durabilidad. Por ejemplo, la incorporación de polímeros en la mezcla asfáltica puede aumentar la elasticidad y la resistencia al agrietamiento, lo que resulta en un pavimento más duradero y menos susceptible a daños. Además, el uso de residuos plásticos contribuye a la reducción de desechos, lo que es especialmente relevante en un contexto donde la gestión de residuos se ha convertido en un desafío global.

Sin embargo, a pesar de las ventajas potenciales, la implementación de mezclas asfálticas modificadas con residuos plásticos enfrenta varios desafíos. Uno de los principales obstáculos es la falta de normativas y estándares claros que regulen el uso de estos materiales en la construcción de pavimentos. La ausencia de directrices específicas puede generar incertidumbre entre los ingenieros y constructores, lo que a su vez puede limitar la adopción de estas prácticas innovadoras. Además, la variabilidad en la calidad y las propiedades de los residuos plásticos puede dificultar su integración en las mezclas asfálticas, lo que requiere un análisis exhaustivo y un control de calidad riguroso.

Otro desafío importante es la percepción negativa que a menudo se asocia con el uso de materiales reciclados en la construcción. A pesar de los beneficios ambientales y económicos que pueden derivarse de la utilización de residuos plásticos, existe una resistencia cultural y profesional hacia su adopción. Muchos ingenieros y constructores pueden ser reacios a utilizar materiales reciclados debido a preocupaciones sobre su rendimiento y durabilidad, lo que puede limitar la innovación en el sector de la construcción.

En búsqueda de una solución que permita incrementar la vida útil de las carreteras se propone una mezcla con nuevos agregados compuesto de residuos provenientes del PVC tipo blíster. Dicha propuesta se llevará a cabo específicamente, en la vía Leon Febres cordero – Vía Daule en donde existen frecuentes daños de las calzadas, por lo que se debe estar reparando constantemente generando la asignación de presupuestos elevados para mantenimiento y conservación vial.

En este contexto se realizarán diferentes modificaciones a mezclas asfálticas utilizando residuos provenientes del PVC tipo blíster con el propósito de encontrar una composición adecuada para obtener capas asfálticas con mayor calidad, reduciendo presupuesto y, además, proporcionar una alternativa para la construcción de carreteras en Ecuador.

Esta alternativa contribuye con el impacto ambiental, ya que el Ecuador anualmente genera alrededor de 4 millones de toneladas de basura y la resistencia de los plásticos a la desintegración por humedad genera acumulación en los rellenos sanitarios. Siendo los plásticos de mayor consumo a nivel nacional, el polietileno de baja y de alta densidad, polipropileno, poliestireno, cloruro de polivinilo y polietileno tereftalato (Peralta y Manopanta, 2018).

La mezcla asfáltica con polímero PVC tipo blíster representa un paso significativo hacia soluciones más duraderas y sostenibles. Por ende, no solo se busca mejorar la calidad de las carreteras, sino también contribuir a prácticas más amigables con el medio ambiente y al desarrollo de métodos innovadores. Por lo tanto, la presente investigación se propone realizar un análisis técnico sobre el mantenimiento de la mezcla asfáltica modificada con polímeros PVC tipo blíster y la mezcla asfáltica convencional para el uso de vías.

En este contexto, la investigación sobre la modificación de mezclas asfálticas utilizando residuos de polímero PVC-blíster se presenta como una oportunidad para abordar estos desafíos. Este tipo de material, que a menudo se considera un desecho en la industria, tiene el potencial de ser reutilizado en la construcción de carreteras, mejorando así las propiedades mecánicas del asfalto y contribuyendo a la sostenibilidad en la ejecución de vías. La elección del PVC-blíster como material de modificación se basa en su disponibilidad, así como en sus características físicas y químicas que pueden influir positivamente en el comportamiento del asfalto.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar el efecto de diferentes porcentajes de adición de PVC-blíster (0.75%, 1.0% y 1.25%) en las propiedades mecánicas del asfalto, específicamente en términos de ductilidad y resistencia. Para ello, se aplicará la norma NTE INEN 916, que establece los procedimientos de ensayo

para la evaluación de estas propiedades en mezclas asfálticas. A través de ensayos de laboratorio, se analizarán las propiedades reológicas y térmicas de las mezclas, permitiendo una comparación exhaustiva con el asfalto convencional.

La investigación se fundamenta en la normativa NEVI-12, que establece criterios para el diseño y evaluación de carreteras en Ecuador. Esta normativa enfatiza la necesidad de garantizar la calidad y el impacto ambiental de los materiales utilizados en la construcción de infraestructuras viales. Al incorporar residuos de PVC-blíster en las mezclas asfálticas, se busca no solo mejorar las características mecánicas del asfalto, sino también contribuir a la reducción de desechos plásticos, alineándose con las prácticas de construcción sostenible.

El análisis de las propiedades mecánicas del asfalto modificado con PVC-blíster permitirá determinar la viabilidad de su uso en la construcción de carreteras. Se espera que los resultados obtenidos proporcionen información valiosa sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas, así como sobre la influencia de los diferentes porcentajes de adición de PVC-blíster en su rendimiento. Este conocimiento es crucial para la toma de decisiones en el diseño y la ejecución de proyectos de infraestructura vial, especialmente en un contexto donde la sostenibilidad y la gestión de residuos son cada vez más relevantes.

Además, este trabajo no solo busca aportar al conocimiento técnico en la modificación de mezclas asfálticas, sino también generar conciencia sobre la importancia de adoptar prácticas responsables en la gestión de residuos y el uso de materiales en la construcción. La innovación en el uso de materiales reciclados es fundamental para avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible, que minimice el impacto ambiental y promueva la economía circular.

La investigación también tiene implicaciones prácticas para la industria de la construcción y la gestión de residuos. Al demostrar la viabilidad de utilizar PVC-blíster en la modificación de mezclas asfálticas, se abre la puerta a nuevas oportunidades para la reutilización de materiales que, de otro modo, terminarían en vertederos. Esto no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también puede generar

beneficios económicos al disminuir la dependencia de materiales vírgenes y reducir los costos asociados a la gestión de residuos.

### **1.3 Pregunta de Investigación**

¿Cuál es la viabilidad y eficacia del uso de asfalto mezclado con polímero PVC tipo blíster en el mantenimiento vial, considerando sus propiedades de resistencia, durabilidad en la carretera/vía?

### **1.4 Objetivo General**

Evaluar el desempeño técnico, de asfalto mezclado con polímero PVC tipo blíster, al compararla con la mezcla asfáltica tradicional.

### **1.5 Objetivos Específicos**

- Calcular el porcentaje de agregado PVC - blíster óptimo para el uso en mezcla asfáltica.
- Determinar el desempeño de las características mecánicas (flujo y estabilidad) de asfalto mezclado con polímero PVC tipo blíster.
- Comparar características mecánicas de asfalto mezclado con polímero PVC tipo blíster y la mezcla asfáltica tradicional.
- Evaluar el impacto económico que tendrá el uso del asfalto modificado en condiciones locales, comparándolo con prácticas convencionales de mantenimiento vial.

### **1.6 Hipótesis**

Ho: La incorporación de asfalto mezclado con polímero PVC tipo blíster en el proceso de mantenimiento vial no resulta en un pavimento con mayor resistencia, durabilidad y eficacia en comparación con el asfalto convencional

Ha: La incorporación de asfalto mezclado con polímero PVC tipo blíster en el proceso de mantenimiento vial resulta en un pavimento con mayor resistencia, durabilidad y eficacia en comparación con el asfalto convencional.

## **1.7 Línea y Sub línea de Investigación de la Facultad**

- **Campo de Conocimiento:** Ingeniería, Industria y Construcción
- **Línea de Investigación:** Materiales de Construcción
- **Sub-Línea de Investigación:** Materiales innovadores en la construcción

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Antecedentes

Ortiz et al., (2023), exploran en su investigación las causas del deterioro prematuro recurrente en las carreteras de Manabí, Ecuador, enfocándose en la vía Tosagua. Con el objetivo de combatir este problema, proponen una alternativa a las mezclas asfálticas convencionales: un diseño modificado con polímero Butonal N 1138 al 3%. Para evaluar la efectividad de esta propuesta, los investigadores compararon las propiedades físico-mecánicas de ambos diseños utilizando el método Marshall. Se elaboraron probetas con diferentes porcentajes de asfalto (5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%) para el diseño convencional, y una adicional con 3% de polímero. Los resultados obtenidos mediante el método Marshall y análisis gráficos revelaron mejoras significativas en los parámetros evaluados con la incorporación del polímero. Esto evidencia un aumento en la resistencia, la flexibilidad y la durabilidad de las mezclas asfálticas modificadas.

Jwaida et al., (2023), presentan en su investigación titulada "The Use of Waste Polymers in Asphalt Mixtures: Bibliometric Analysis and Systematic Review" un análisis bibliométrico y revisión sistemática sobre la utilización de polímeros de desecho en mezclas asfálticas. A pesar de la amplia aplicación del asfalto en la construcción de carreteras debido a su durabilidad y capacidad para soportar tráfico pesado, la disposición de desechos de polímeros ha surgido como una preocupación ambiental significativa. En respuesta a esto, los investigadores han explorado el uso de desechos poliméricos para modificar pavimentos asfálticos como un enfoque innovador, buscando mejorar el rendimiento del pavimento y abordar las inquietudes ambientales asociadas con los desechos poliméricos.

La revisión exhaustiva tiene como objetivo sintetizar el conocimiento más reciente sobre el empleo de desechos poliméricos en mezclas asfálticas, abordando su impacto tanto en las propiedades de rendimiento como en el diseño de las mezclas. Destaca que la inclusión de desechos poliméricos en las mezclas asfálticas puede conducir a mejoras significativas en el rendimiento, especialmente en la mitigación de

problemas comunes como la deformación permanente y las fisuras térmicas y por fatiga en los pavimentos asfálticos. Además, la revisión aborda distintos tipos de desechos poliméricos, explorando sus beneficios potenciales, desafíos y señalando direcciones futuras para la investigación. Al analizar varios estudios, la revisión proporciona perspectivas detalladas sobre la viabilidad, eficacia y limitaciones de la incorporación de desechos poliméricos en mezclas asfálticas, contribuyendo de manera significativa al avance de prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la construcción de carreteras (Jwaida et al., (2023).

En el ámbito de la construcción de carreteras, la búsqueda de alternativas sostenibles y eficientes es cada vez más relevante. En este contexto, la investigación de Cruz et al., (2021), titulada "Evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster", propone una solución innovadora: la incorporación de residuos de PVC tipo blíster en mezclas asfálticas. El estudio se basa en la modificación de mezclas asfálticas convencionales mediante la inclusión de residuos de PVC tipo blíster. Esta incorporación se realiza en seco, sustituyendo una parte del agregado fino. Para evaluar el desempeño de la mezcla modificada, se comparó su comportamiento mecánico con el de una mezcla convencional. Las pruebas realizadas incluyeron ensayos de fatiga a cuatro puntos, rueda de Hamburgo, resistencia retenida a la tensión diametral y módulo dinámico. Además, se evaluó la sensibilidad de la mezcla en una estructura de pavimento para determinar su ubicación óptima.

Los resultados obtenidos en el estudio de Cruz et al., (2021), fueron contundentes: la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster presentó un comportamiento mecánico superior al de la mezcla convencional en todas las pruebas realizadas. Esto se traduce en una mayor resistencia a la deformación, el agrietamiento y el desgaste, lo que implica una vida útil más prolongada para el pavimento. Demostrando el gran potencial de los residuos de PVC tipo blíster como aditivo efectivo en mezclas asfálticas. Esta alternativa sostenible ofrece una serie de beneficios, incluyendo la mejora del rendimiento del pavimento, la reducción de costos de construcción y la promoción de prácticas más amigables con el medio ambiente (Cruz et al., 2021).

Veranita y Bambang (2020), exploran en su la influencia del uso de cloruro de polivinilo (PVC) como material aditivo en la capa de desgaste de concreto asfáltico sobre la calidad del pavimento. El objetivo principal es evaluar los efectos de la incorporación de PVC en la mezcla asfáltica, considerando los estándares establecidos por el método Bina Marga 2018. Se llevaron a cabo pruebas Marshall con tres variaciones de PVC: 3%, 4% y 6%, las cuales revelaron que el contenido óptimo de asfalto fue del 6.5%, 5.8%, y 6% para las variaciones de PVC mencionadas. Además, la prueba de inmersión Marshall durante 30 minutos mostró valores de resistencia de 1,367.91 kg para la variación del 3%, 1,283.84 kg para el 4%, y 1,225.81 kg para el 6%. Los valores de durabilidad obtenidos fueron del 94.75%, 92.54%, y 93.85% para las tres variaciones, respectivamente.

El estudio sugiere agregar PVC a la mezcla puede mejorar la durabilidad, pero también destaca que un aumento en el contenido de PVC puede reducir la estabilidad debido a la disminución de los vacíos en la mezcla. Estos hallazgos ofrecen valiosa información sobre el potencial uso de PVC como aditivo en el concreto asfáltico, destacando la importancia de equilibrar la durabilidad con la estabilidad para garantizar un rendimiento efectivo de la mezcla en aplicaciones viales (Veranita y Bambang,2020).

Monrroy y Pardo (2020), en su investigación abordan las deficiencias existentes en la malla vial de Colombia, atribuidas a la baja inversión y la escasa investigación sobre materia prima que sea resistente, de bajo costo y confiable para la construcción de carreteras seguras. Ante esta problemática, como una solución innovadora en infraestructura, que combine nuevos materiales y métodos de construcción respetuosos con el medio ambiente, proponen explorar los beneficios de la elaboración de pavimentos adicionando plástico reciclado. La investigación se basa en la validación de varios componentes, tomando como referencia el proyecto "Potential Reuse of Plastic Waste in Road Construction: A Review". En dicho proyecto, se expusieron desventajas y beneficios del mantenimiento vial utilizando pavimento modificado con plástico.

La viabilidad de implementar pavimentos con plástico reciclado en Colombia se evalúa considerando su costo y propiedades. Aunque se reconoce un aumento en los costos al emplear polímeros como agregados, la comparación entre el pavimento

convencional y el transformado con plástico revela beneficios presupuestarios a largo plazo. Este estudio ofrece perspectivas valiosas sobre la aplicación práctica de pavimentos con plástico reciclado, destacando sus ventajas y desventajas, y sienta las bases para la consideración de alternativas sostenibles en la construcción de vías en el país (Monrroy y Pardo, 2020).

## **2.2 Fundamentos Teóricos**

### **2.2.1. Mezcla Asfáltica Tradicional**

La mezcla asfáltica tradicional se refiere a la combinación de agregados pétreos y asfalto convencional utilizada en la construcción de pavimentos. Esta mezcla se compone de materiales naturales o procesados, donde el asfalto actúa como aglomerante que une los agregados, proporcionando la resistencia necesaria y la capacidad de soportar las cargas del tráfico (Arciniegas y Ríos, 2021).

El proceso de producción de la mezcla asfáltica incluye la dosificación, mezcla y calentamiento de los materiales, asegurando que el asfalto cubra uniformemente los agregados. La mezcla se compacta en caliente sobre la superficie del pavimento, logrando una estructura densa y homogénea, capaz de soportar las cargas del tráfico. Entre las características técnicas de la mezcla asfáltica tradicional destacan su durabilidad, resistencia al desgaste, y capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y de tráfico.

Se utiliza comúnmente en la construcción de carreteras, autopistas, pistas de aeropuertos y otras infraestructuras viales, debido a su eficacia y costo relativamente bajo en comparación con otros materiales de pavimentación. Además, la mezcla asfáltica puede ser diseñada para cumplir con especificaciones particulares, como la resistencia a la fatiga, estabilidad ante deformaciones permanentes, y capacidad de drenaje, lo que la hace versátil para diversas aplicaciones en la ingeniería vial.

**Figura 1** Mezcla asfáltica tradicional



**Fuente:** Hernández, (2024)

### **2.2.2. Asfalto Modificado con PVC**

Implica la introducción de polímeros de cloruro de polivinilo (PVC) en el asfalto convencional. Este proceso busca la mejora de las características mecánicas y térmicas del asfalto, brindando mayor resistencia al envejecimiento, mayor durabilidad y una mejor capacidad para resistir deformaciones permanentes, favoreciendo el rendimiento de las mezclas asfálticas (Reyes et al., 2013).

La adición de PVC al asfalto convencional ofrece varias ventajas significativas. En términos de comportamiento mecánico, se mejora la resistencia al envejecimiento, lo que se traduce en una mayor durabilidad del pavimento. Además, el asfalto modificado con PVC muestra una capacidad superior para resistir deformaciones permanentes como el ahuellamiento, que es común en condiciones de tráfico intenso y altas temperaturas.

Desde el punto de vista térmico, el PVC ayuda a mejorar la estabilidad de la mezcla asfáltica a diferentes rangos de temperatura, reduciendo la susceptibilidad a la fisuración por bajas temperaturas y aumentando la resistencia al flujo plástico en climas cálidos. Esto contribuye a un mejor rendimiento general del pavimento, alargando su vida útil y reduciendo los costos de mantenimiento.

Las aplicaciones del asfalto modificado con PVC son diversas, abarcando desde carreteras y autopistas hasta pavimentos industriales y áreas expuestas a condiciones extremas de carga y temperatura. Sin embargo, la implementación de esta tecnología requiere una consideración cuidadosa de factores como la compatibilidad del PVC con el asfalto base, el costo de producción, y los posibles impactos ambientales asociados con el uso de polímeros sintéticos.

Es importante destacar que el éxito del asfalto modificado con PVC depende no solo de la calidad de los materiales utilizados, sino también de un control riguroso durante el proceso de fabricación y la correcta aplicación en obra. Investigaciones como la de Reyes et al., (2013) han demostrado que, cuando se aplican correctamente, estos asfaltos modificados pueden mejorar notablemente el rendimiento de las mezclas asfálticas frente a las condiciones de tráfico y clima más desafiantes.

### **2.2.3. Residuos de PVC Tipo Blíster**

Los residuos de PVC tipo blíster provienen de envases plásticos utilizados comúnmente en la industria farmacéutica y para empaquetar diversos bienes de consumo. Estos envases están compuestos principalmente por una capa de PVC que, una vez desechada, puede ser difícil de reciclar mediante métodos convencionales. Sin embargo, estos residuos representan una oportunidad para su reutilización en la ingeniería civil, específicamente como material modificador en mezclas asfálticas (Cruz et al., 2021).

El proceso de incorporación de residuos de PVC tipo blíster en mezclas asfálticas generalmente implica la trituración y el procesamiento de estos plásticos para obtener partículas adecuadas para mezclarse con el asfalto. Al introducir estos residuos en el asfalto, se pueden mejorar propiedades clave como la durabilidad, la resistencia al agrietamiento y la estabilidad a altas temperaturas, lo que se traduce en pavimentos más resistentes y de mayor vida útil.

Además, el uso de residuos de PVC tipo blíster en mezclas asfálticas contribuye significativamente a la reducción de la generación de desechos plásticos, mitigando su impacto ambiental. Este enfoque de economía circular no solo disminuye la cantidad de residuos que terminan en vertederos, sino que también

reduce la necesidad de materias primas vírgenes para la fabricación de polímeros asfálticos.

Sin embargo, la integración de residuos de PVC tipo blíster en el asfalto presenta ciertos desafíos. Es fundamental asegurar la compatibilidad entre el PVC y el asfalto para evitar problemas de dispersión y estabilidad en la mezcla. Además, es necesario considerar los posibles efectos del envejecimiento del PVC en el asfalto modificado, así como las emisiones potenciales de sustancias nocivas durante la producción y aplicación del pavimento.

En términos de sostenibilidad, la reutilización de residuos de PVC tipo blíster en pavimentación no solo contribuye a la reducción de la huella ambiental, sino que también abre nuevas posibilidades para la gestión de residuos industriales. Investigaciones recientes, como la de Cruz et al., (2021), han demostrado que este enfoque puede ser efectivo en mejorar el rendimiento de las mezclas asfálticas mientras se aborda un problema ambiental crítico.

**Figura 2** Desechos de PVC tipo blíster



**Fuente:** Hernández, (2024)

#### **2.2.4. Características Mecánicas de Asfaltos**

Las características mecánicas de los asfaltos son fundamentales para determinar su desempeño en pavimentos y otras aplicaciones de infraestructura. Estas características se refieren a las propiedades físicas y de resistencia del material

asfáltico, que influyen directamente en su capacidad para soportar cargas de tráfico, resistir deformaciones y mantener su integridad estructural a lo largo del tiempo.

Entre las principales características mecánicas de los asfaltos se encuentran:

- **Resistencia a la Carga:** Es la capacidad del asfalto para soportar el peso del tráfico vehicular sin sufrir daños estructurales significativos. Esta resistencia se evalúa comúnmente mediante ensayos de compresión y tracción, donde se mide la capacidad del asfalto para resistir fuerzas que tienden a deformarlo o fracturarlo.
- **Deformación Permanente (Ahuellamiento):** Se refiere a la capacidad del asfalto para resistir deformaciones plásticas que pueden ocurrir bajo cargas repetidas, especialmente en condiciones de altas temperaturas. El ahuellamiento es una forma de falla común en pavimentos, y su control es esencial para la durabilidad del pavimento.
- **Durabilidad:** La durabilidad del asfalto implica su capacidad para resistir el envejecimiento, la oxidación y otros efectos degradantes provocados por la exposición a factores ambientales como el sol, la lluvia, el frío y los productos químicos. Un asfalto duradero mantiene sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo, lo que reduce la necesidad de reparaciones y mantenimiento.
- **Comportamiento a la Fatiga:** Este parámetro mide la capacidad del asfalto para resistir la fractura bajo cargas cíclicas repetidas, como las que experimenta un pavimento debido al tráfico continuo. La fatiga es una de las principales causas de fallas en pavimentos, y se evalúa mediante ensayos de flexión para determinar la resistencia del asfalto a las grietas por fatiga.
- **Resistencia a la Fractura:** Se refiere a la capacidad del asfalto para resistir la formación y propagación de grietas bajo la aplicación de cargas. La resistencia a la fractura es crucial en climas fríos, donde el asfalto está más propenso a agrietarse debido a la contracción térmica.

Estas características mecánicas son evaluadas mediante una serie de ensayos normalizados, como los ensayos Marshall, Superpave o de resistencia a la tracción indirecta, que permiten cuantificar las propiedades del asfalto y su idoneidad para diferentes aplicaciones. La comprensión y el control de estas propiedades son

esenciales para diseñar pavimentos que no solo cumplan con los requisitos estructurales y funcionales, sino que también ofrezcan una larga vida útil con un mantenimiento mínimo.

Las investigaciones de Moreno y Calvo-López, (2016), destacan la importancia de estas características en la selección y diseño de mezclas asfálticas, subrayando que un asfalto bien diseñado debe equilibrar adecuadamente todas estas propiedades para lograr un rendimiento óptimo en una amplia gama de condiciones de servicio (Moreno y Calvo-López, 2016).

**Figura 3** Propiedades mecánicas del asfalto



**Fuente:** Moreno y Calvo-López, (2016)

### **2.2.5. Estabilidad y Flujo en Mezclas Asfálticas:**

La estabilidad y flujo en mezclas asfálticas se relacionan con la capacidad que tiene la mezcla para resistir ante las imperfecciones y mantener la forma al sometimiento de cargas y condiciones de tráfico. La estabilidad se refiere a la resistencia estructural, mientras que el flujo aborda la capacidad del asfalto para deformarse gradualmente sin sufrir daños permanentes (Múnera y Ossa, 2014).

La estabilidad y el flujo en mezclas asfálticas son dos características clave que determinan el comportamiento de un pavimento bajo cargas de tráfico. Estos parámetros están intrínsecamente relacionados con la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir deformaciones y mantener su integridad estructural a lo largo del tiempo.

**Estabilidad:** se refiere a la resistencia estructural de la mezcla asfáltica, o su capacidad para soportar cargas aplicadas sin sufrir deformaciones excesivas ni fallas. Este parámetro es crucial para garantizar que el pavimento pueda soportar el peso de los vehículos, especialmente en condiciones de tráfico pesado. Una alta estabilidad indica que la mezcla es capaz de resistir el ahuellamiento, las deformaciones plásticas y otros tipos de fallas estructurales.

La estabilidad se mide comúnmente mediante el ensayo Marshall, que aplica una carga creciente a una muestra cilíndrica de la mezcla asfáltica hasta que se produce una falla. La carga máxima que la muestra puede soportar antes de fallar se registra como la estabilidad de la mezcla. Un valor adecuado de estabilidad es esencial para pavimentos en áreas de tráfico intenso, donde la resistencia a la deformación es fundamental para la longevidad del pavimento.

**Flujo:** describe la capacidad de la mezcla asfáltica para deformarse de manera controlada bajo la aplicación de cargas sin sufrir daños permanentes. Se refiere a la ductilidad de la mezcla y su capacidad para adaptarse a las tensiones sin fracturarse o sufrir deformaciones irreversibles. En el ensayo Marshall, el flujo se mide como la cantidad de deformación que experimenta la muestra en el momento de su falla.

Un flujo adecuado es crucial para evitar la rigidez excesiva en el pavimento, lo que podría llevar a grietas y otros problemas de fatiga bajo cargas cíclicas. Sin embargo, un flujo demasiado alto podría indicar una mezcla demasiado blanda, propensa a deformaciones permanentes, como el ahuellamiento.

**Equilibrio entre Estabilidad y Flujo:** en el diseño de mezclas asfálticas, es esencial encontrar un equilibrio entre estabilidad y flujo. Una mezcla con alta estabilidad, pero bajo flujo podría ser demasiado rígida, lo que la haría susceptible a la fractura y la fatiga. Por otro lado, una mezcla con alto flujo, pero baja estabilidad

podría deformarse excesivamente bajo el tráfico, lo que resultaría en un pavimento deformado y poco duradero.

El balance óptimo entre estabilidad y flujo asegura que la mezcla asfáltica pueda resistir las condiciones de tráfico a las que será sometida, manteniendo su forma y funcionalidad a lo largo de su vida útil. Esto implica ajustar cuidadosamente la proporción de agregados, el tipo y la cantidad de asfalto, y otros aditivos para lograr las propiedades deseadas.

**Impacto en el Rendimiento del Pavimento:** una estabilidad inadecuada puede resultar en deformaciones permanentes y fallas estructurales, como el ahuellamiento, mientras que un flujo insuficiente podría llevar a una mayor susceptibilidad a grietas y fracturas, especialmente en climas fríos o bajo cargas cíclicas. Por lo tanto, la evaluación de estos parámetros es crítica durante el diseño de la mezcla asfáltica para garantizar un pavimento que ofrezca un rendimiento confiable y duradero.

#### **2.2.6. Sostenibilidad en Pavimentación:**

La sostenibilidad en pavimentación se centra en la implementación de prácticas y materiales que reduzcan el impacto ambiental y promuevan el uso eficiente de recursos en la construcción y mantenimiento de carreteras. Esto incluye consideraciones sobre la utilización de materiales reciclados, la eficiencia energética y la minimización de residuos (Guzmán y Mogrovejo, 2017).

La sostenibilidad en pavimentación se enfoca en adoptar prácticas y materiales que reduzcan el impacto ambiental de la construcción y el mantenimiento de infraestructuras viales, promoviendo al mismo tiempo un uso eficiente y responsable de los recursos naturales. Este enfoque integral busca no solo minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente, sino también optimizar los beneficios sociales y económicos a largo plazo.

**Uso de Materiales Reciclados:** una de las estrategias más importantes en pavimentación sostenible es la incorporación de materiales reciclados en las mezclas asfálticas. El uso de asfalto reciclado (RAP), neumáticos fuera de uso (NFU), y residuos plásticos, como el PVC tipo blíster, son ejemplos de cómo los materiales

desechados pueden reutilizarse para crear pavimentos duraderos y de alto rendimiento. Esta práctica no solo reduce la demanda de materias primas vírgenes, sino que también disminuye significativamente la cantidad de residuos que terminan en vertederos.

**Eficiencia Energética:** la eficiencia energética en pavimentación implica la reducción del consumo de energía durante todas las fases del ciclo de vida del pavimento, desde la extracción de materiales y la producción de mezclas asfálticas hasta su transporte y aplicación. Las tecnologías de mezcla en frío y templado, por ejemplo, permiten la fabricación de asfalto a temperaturas más bajas que las mezclas tradicionales en caliente, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Minimización de Residuos:** la gestión eficaz de los residuos generados durante la construcción y el mantenimiento de carreteras es otro pilar de la sostenibilidad. Esto incluye la reutilización de los residuos de demolición, la optimización de los procesos constructivos para minimizar los desechos, y la implementación de técnicas de pavimentación que prolonguen la vida útil de las carreteras, reduciendo así la frecuencia de las intervenciones y, consecuentemente, la generación de residuos.

**Tecnologías Emergentes y Pavimentos Verdes:** las tecnologías emergentes, como los pavimentos fotovoltaicos y las carreteras permeables, están transformando la industria de la pavimentación hacia un enfoque más sostenible. Los pavimentos fotovoltaicos integran paneles solares en la superficie de las carreteras, generando energía limpia que puede ser utilizada para alumbrado público o infraestructuras de carga para vehículos eléctricos. Por su parte, los pavimentos permeables permiten la infiltración de agua de lluvia, reduciendo la escorrentía y ayudando a gestionar el agua de manera más sostenible.

**Beneficios Económicos a Largo Plazo:** aunque las prácticas sostenibles pueden requerir una inversión inicial más alta, a menudo resultan en ahorros significativos a largo plazo. La durabilidad mejorada y el menor requerimiento de mantenimiento reducen los costos operativos, mientras que el uso de materiales

recicladados y tecnologías energéticamente eficientes puede disminuir la dependencia de recursos caros y escasos.

**Normativa y Certificaciones Ambientales:** el marco regulatorio y las certificaciones ambientales, como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y Greenroads, son cada vez más importantes en la pavimentación sostenible. Estas certificaciones establecen estándares para evaluar y reconocer proyectos que cumplen con criterios de sostenibilidad, promoviendo mejores prácticas en la industria y ofreciendo un reconocimiento formal a los proyectos que contribuyen al bienestar ambiental y social.

### 2.2.7. *Reciclaje de Materiales Plásticos en Construcción:*

El reciclaje de materiales plásticos en construcción se refiere a la reutilización de residuos plásticos, como el PVC, en procesos de construcción para reducir la generación de desechos y fomentar prácticas más sostenibles (Sangucho et al., 2023).

**Figura 4** Propiedades mecánicas del asfalto



**Fuente:** Sangucho et al., (2023)

Este enfoque busca no solo reducir la acumulación de desechos plásticos, que representan un problema ambiental significativo, sino también promover prácticas

constructivas más sostenibles y eficientes. Diferentes tipos de plásticos pueden ser reciclados e incorporados en la construcción, cada uno con sus propias propiedades y aplicaciones:

- **PVC (Policloruro de Vinilo):** Utilizado en una variedad de productos de construcción, como tuberías, revestimientos, y suelos, el PVC reciclado puede ser reincorporado en estas aplicaciones o utilizado en nuevas mezclas asfálticas para mejorar la durabilidad del pavimento.
- **PET (Polietileno Tereftalato):** Comúnmente encontrado en botellas de bebidas, el PET reciclado puede ser transformado en materiales de construcción como paneles, ladrillos o fibras para refuerzo de concreto.
- **HDPE (Polietileno de Alta Densidad):** Utilizado en tuberías y productos de embalaje, el HDPE reciclado se emplea en la fabricación de geomembranas, elementos estructurales y productos de carpintería plástica.
- **Polipropileno (PP):** Este plástico, utilizado en envases y textiles, puede ser reciclado para producir elementos de mobiliario urbano, componentes de sistemas de drenaje y productos aislantes.

El reciclaje de plásticos en la construcción puede involucrar varios procesos, dependiendo del tipo de plástico y su aplicación final:

- **Trituración y Granulación:** Los plásticos reciclados se trituran y granulan para ser incorporados en nuevas mezclas de materiales, como en asfaltos modificados o en la fabricación de bloques y paneles.
- **Extrusión:** Este proceso convierte los plásticos reciclados en perfiles y componentes que pueden ser utilizados directamente en la construcción, como revestimientos, perfiles de ventanas, y sistemas de drenaje.
- **Moldeo por Inyección:** Utilizado para crear componentes de construcción precisos, como piezas para ensamblaje, mobiliario, y elementos decorativos.
- **Composites Plásticos:** La combinación de plásticos reciclados con otros materiales, como fibras naturales o residuos industriales, produce materiales compuestos que ofrecen mejoras en resistencia, durabilidad y aislamiento térmico o acústico.

El reciclaje de materiales plásticos en la construcción ofrece múltiples beneficios:

- **Reducción de Residuos:** Disminuye la cantidad de desechos plásticos que terminan en vertederos, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental.
- **Ahorro de Recursos:** Reutilizar plásticos reduce la demanda de materias primas vírgenes, conservando recursos naturales y reduciendo la huella de carbono asociada con la extracción y procesamiento de materiales.
- **Innovación en Materiales:** El reciclaje fomenta la innovación en la creación de nuevos materiales con propiedades mejoradas, como mayor resistencia, durabilidad y eficiencia energética.
- **Costos:** En algunos casos, el uso de materiales reciclados puede ser más económico que los materiales tradicionales, ofreciendo ahorros en costos de construcción y mantenimiento.

A pesar de sus beneficios, el reciclaje de plásticos en la construcción también presenta desafíos:

- **Compatibilidad:** No todos los plásticos son compatibles entre sí o con otros materiales de construcción, lo que puede limitar sus aplicaciones.
- **Calidad y Consistencia:** La variabilidad en la calidad de los plásticos reciclados puede afectar la consistencia del producto final, lo que requiere controles de calidad estrictos.
- **Procesamiento:** El reciclaje de plásticos requiere procesos específicos y, a veces, costosos, que pueden no estar disponibles en todas las regiones o para todos los tipos de plásticos.

El uso de plásticos reciclados en la construcción está ganando terreno en proyectos alrededor del mundo. Desde carreteras construidas con asfalto modificado con plásticos reciclados hasta la creación de viviendas sostenibles con ladrillos de PET reciclado, estos ejemplos demuestran el potencial del reciclaje de plásticos para transformar la industria de la construcción hacia un futuro más sostenible.

### **2.2.8. Evaluación de Desempeño de Pavimentos:**

La evaluación de desempeño de pavimentos implica la medición y análisis de la efectividad y durabilidad de las estructuras viales, considerando aspectos como la capacidad de carga, la seguridad, la resistencia y la vida útil del pavimento (Montes et al., 2021).

La evaluación de desempeño de pavimentos es un proceso crucial que involucra la medición, análisis y seguimiento del rendimiento de las estructuras viales a lo largo del tiempo. Este proceso tiene como objetivo asegurar que los pavimentos cumplen con los estándares de calidad esperados, garantizando su funcionalidad, seguridad y durabilidad bajo condiciones reales de uso.

**Métodos y Herramientas de Evaluación:** existen diversos métodos y herramientas utilizados para evaluar el desempeño de pavimentos, cada uno adaptado a las necesidades específicas del proyecto y las condiciones del pavimento:

- **Ensayos No Destructivos (NDT):** Estos métodos permiten la evaluación del pavimento sin causar daño a la estructura. Incluyen técnicas como el radar de penetración terrestre (GPR), la deflectometría de impacto (FWD) y el perfilado láser. Estas herramientas proporcionan información sobre la integridad estructural, la capacidad de carga y las condiciones superficiales del pavimento.
- **Monitoreo de Deformaciones y Grietas:** La medición de deformaciones permanentes, como el ahuellamiento, y la identificación y seguimiento de grietas son indicadores clave del desempeño del pavimento. Estos aspectos se evalúan mediante inspecciones visuales, pruebas de resistencia a la tracción y compresión, y el uso de dispositivos de medición automatizados.
- **Evaluación de la Resistencia al Desgaste y la Fatiga:** Se utilizan ensayos específicos para medir la resistencia del pavimento al desgaste causado por el tráfico y las condiciones climáticas, así como su capacidad para resistir la fatiga y evitar fracturas bajo cargas repetidas. Estos ensayos incluyen pruebas de fatiga en laboratorio y evaluaciones de campo.
- **Análisis de Superficie:** El análisis de la textura y el coeficiente de fricción de la superficie del pavimento es esencial para garantizar la seguridad vial. Estos

análisis determinan la capacidad del pavimento para proporcionar tracción adecuada, reducir el riesgo de accidentes y mejorar la comodidad de los usuarios.

**Indicadores Clave de Desempeño (KPI):** la evaluación de pavimentos se basa en una serie de Indicadores Clave de Desempeño (KPI) que permiten medir y comparar el rendimiento del pavimento en diferentes aspectos:

- **Índice de Condición del Pavimento (PCI):** Es una medida cuantitativa que refleja la condición general del pavimento, basada en el tipo, la extensión y la severidad de las distresses superficiales observadas.
- **Capacidad de Carga:** Se refiere a la capacidad del pavimento para soportar las cargas vehiculares sin sufrir deformaciones o fallas estructurales significativas.
- **Resistencia al Ahuellamiento:** Este indicador mide la capacidad del pavimento para resistir deformaciones permanentes bajo la acción de cargas repetidas.
- **Resistencia al Desgaste:** Evalúa la durabilidad de la superficie del pavimento frente al tráfico y las condiciones ambientales, incluyendo la abrasión y la acción de agentes químicos.
- **Seguridad Vial:** Involucra la evaluación de la fricción superficial y la macrotextura del pavimento, factores críticos para prevenir accidentes, especialmente en condiciones de lluvia o nieve.

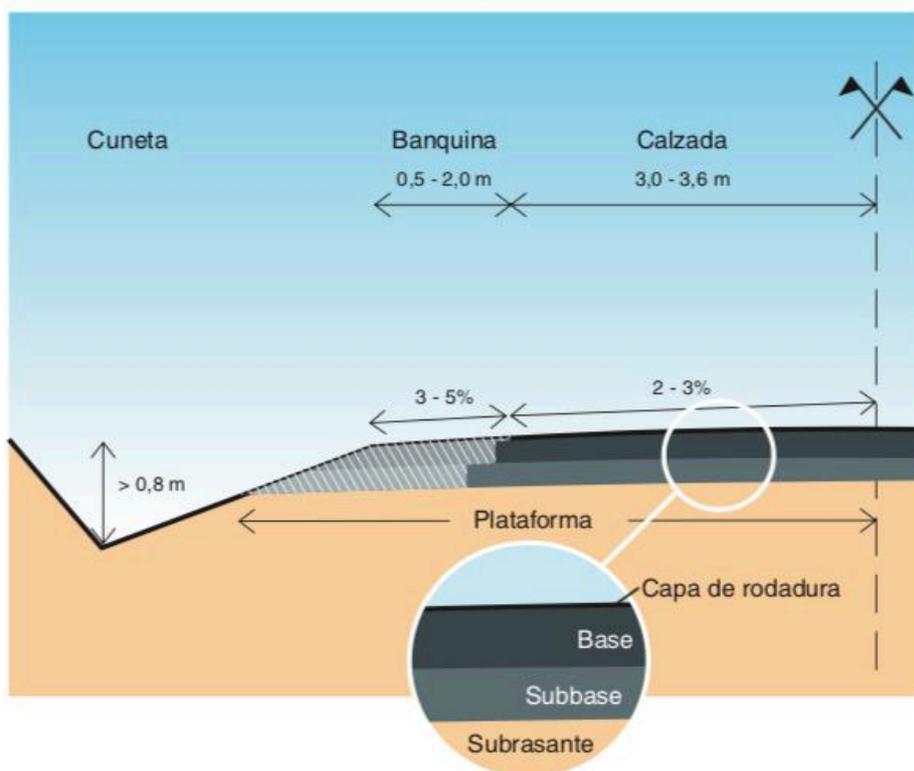
**Monitoreo Continuo y Mantenimiento Predictivo:** la evaluación de desempeño no es un proceso único, sino que requiere un monitoreo continuo para identificar cambios en las condiciones del pavimento y predecir posibles fallas antes de que ocurran. Las técnicas de monitoreo en tiempo real, como los sensores integrados en el pavimento, permiten recopilar datos constantemente, lo que facilita la implementación de programas de mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo, basado en los datos de evaluación de desempeño, permite planificar intervenciones oportunas que prolongan la vida útil del pavimento, reducen los costos de reparación y minimizan las interrupciones en el tráfico.

**Impacto en la Planificación y Gestión de Infraestructuras Viales:** los resultados de la evaluación de desempeño son fundamentales para la toma de decisiones en la planificación y gestión de infraestructuras viales. Estos datos informan sobre la necesidad de reparaciones, rehabilitaciones o reconstrucciones, ayudando a priorizar proyectos y optimizar los recursos disponibles.

Además, una evaluación precisa del desempeño permite ajustar los diseños futuros, adoptando mejores prácticas y tecnologías que mejoren la calidad y durabilidad de los pavimentos. Esto es especialmente relevante en el contexto de pavimentaciones sostenibles, donde se busca maximizar la vida útil de las infraestructuras y minimizar su impacto ambiental.

**Figura 5** Propiedades de pavimentos



**Fuente:** Montes et al., (2021)

### **2.2.9. Agregados en Mezclas Asfálticas:**

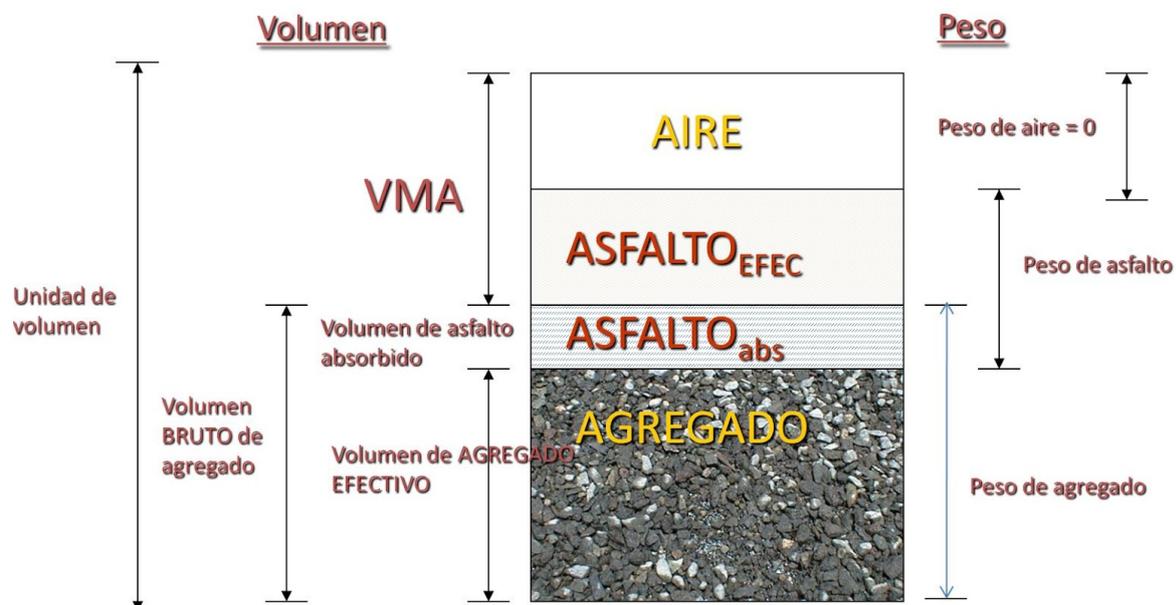
Los agregados en mezclas asfálticas son partículas pétreas que, en combinación con el asfalto, forman la estructura fundamental de los pavimentos. La selección y calidad de estos agregados son cruciales para determinar la durabilidad, resistencia

y comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica, influenciando directamente el rendimiento a largo plazo de las carreteras (Reyes-Ortiz et al., 2013).

Existen diferentes tipos de agregados utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas, cada uno con propiedades que influyen en el rendimiento del pavimento:

- **Agregados Naturales:** Son materiales obtenidos directamente de la naturaleza, como gravas, arenas y rocas trituradas. Su calidad depende de su origen geológico, composición mineralógica y proceso de extracción.
- **Agregados Procesados:** Estos incluyen materiales que han sido triturados o modificados para cumplir con especificaciones técnicas específicas, como los agregados triturados que tienen una forma más angular, proporcionando mejor adherencia con el asfalto.
- **Agregados Reciclados:** Los materiales reciclados, como el asfalto reciclado (RAP) y los escombros de construcción, se están incorporando cada vez más en las mezclas asfálticas. Estos agregados no solo ayudan a reducir la necesidad de nuevos recursos, sino que también contribuyen a prácticas de pavimentación más sostenibles.

**Figura 6** Componentes de la mezcla asfáltica



**Fuente:** Reyes-Ortiz et al., (2013)

La calidad y el comportamiento de los agregados dependen de varias propiedades clave que deben evaluarse y controlarse cuidadosamente:

- **Resistencia al Desgaste:** Los agregados deben ser lo suficientemente duros para resistir el desgaste causado por el tráfico vehicular. La resistencia al desgaste se evalúa comúnmente mediante ensayos de abrasión, como la prueba de Los Ángeles.
- **Dureza y Durabilidad:** Estos son factores críticos que determinan la capacidad del pavimento para soportar cargas y resistir el deterioro bajo condiciones ambientales adversas, como la congelación y descongelación.
- **Forma y Textura Superficial:** La forma de los agregados (angular, cúbica o redondeada) y su textura superficial (rugosa o lisa) afectan la compactibilidad de la mezcla y la adhesión entre los agregados y el asfalto. Los agregados con formas más angulares y texturas rugosas tienden a ofrecer una mejor interconexión y resistencia al deslizamiento.
- **Granulometría:** La distribución del tamaño de las partículas dentro de los agregados, conocida como granulometría, es esencial para la estabilidad de la mezcla. Una buena gradación asegura que los vacíos entre las partículas se minimicen, lo que a su vez maximiza la densidad y la resistencia de la mezcla.

**Figura 7** Granulometría en la mezcla asfáltica



**Fuente:** Reyes-Ortiz et al., (2013).

Los agregados no solo proporcionan la estructura y estabilidad necesarias para la mezcla asfáltica, sino que también influyen en su comportamiento frente a cargas y condiciones ambientales:

- **Resistencia Estructural:** Los agregados de alta calidad contribuyen significativamente a la resistencia estructural del pavimento, ayudando a distribuir las cargas vehiculares y reducir la deformación permanente (ahuellamiento).
- **Durabilidad:** La durabilidad del pavimento está directamente relacionada con la calidad de los agregados. Los agregados resistentes a la intemperie y al desgaste aseguran una mayor vida útil del pavimento.
- **Rendimiento en Climas Extremos:** En regiones con temperaturas extremas o ciclos de congelación y descongelación, los agregados deben ser seleccionados cuidadosamente para evitar daños por congelamiento, como la fractura.

El uso de agregados reciclados en las mezclas asfálticas está ganando popularidad debido a su contribución a la sostenibilidad en la construcción de pavimentos. Estos materiales reducen la demanda de recursos naturales y la cantidad de residuos enviados a vertederos, y cuando se seleccionan y procesan adecuadamente, pueden ofrecer un rendimiento comparable al de los agregados vírgenes.

Además, el uso de agregados reciclados puede reducir los costos de construcción y promover la economía circular dentro de la industria de la construcción. Sin embargo, es fundamental garantizar que estos materiales cumplan con las especificaciones técnicas para evitar problemas de rendimiento a largo plazo.

#### **2.2.10. *Análisis Costo-Beneficio en Pavimentación***

El análisis costo-beneficio en pavimentación evalúa el presupuesto necesario con el mantenimiento y elaboración de pavimentos en comparación con los beneficios derivados de un rendimiento mejorado y una mayor vida útil de la infraestructura vial (Vijayasimhan y Ganesh-Kumar, 2019).

El análisis costo-beneficio en pavimentación es una herramienta fundamental para la toma de decisiones en proyectos de construcción y mantenimiento de pavimentos. Este análisis compara el costo total de las inversiones en pavimentación, incluyendo la construcción, el mantenimiento y la rehabilitación, con los beneficios derivados de un rendimiento mejorado y una mayor vida útil de la infraestructura vial.

Un análisis costo-beneficio en pavimentación generalmente incluye los siguientes componentes:

- **Costos de Construcción:** Incluyen todos los gastos asociados con la construcción inicial del pavimento, como la adquisición de materiales, mano de obra, maquinaria y costos indirectos. Estos costos se calculan basándose en estimaciones de diseño y especificaciones técnicas.
- **Costos de Mantenimiento y Rehabilitación:** Se evalúan los gastos futuros necesarios para mantener el pavimento en condiciones óptimas y para llevar a cabo reparaciones o rehabilitaciones. Esto incluye el costo de inspecciones periódicas, mantenimiento rutinario y posibles renovaciones o mejoras.
- **Beneficios Económicos:** Incluyen los beneficios directos e indirectos resultantes del rendimiento mejorado del pavimento. Estos beneficios pueden incluir:
  - **Reducción de Costos de Mantenimiento:** Un pavimento de alta calidad y durabilidad requiere menos reparaciones y tiene una vida útil más larga, lo que reduce los gastos a lo largo del tiempo.
  - **Mejora en la Seguridad:** Un pavimento bien diseñado y mantenido contribuye a una mayor seguridad vial, reduciendo los costos asociados con accidentes y lesiones.
  - **Aumento del Valor Económico:** Mejores pavimentos pueden elevar el valor de las propiedades adyacentes y mejorar el acceso y la conectividad, lo que tiene efectos positivos en la economía local.
  - **Eficiencia en el Tráfico:** Un pavimento en buen estado puede reducir los tiempos de viaje y mejorar el flujo de tráfico, lo que tiene beneficios económicos adicionales para los usuarios y las empresas.

Para realizar un análisis costo-beneficio eficaz, se utilizan varias técnicas y herramientas:

- **Método del Valor Actual Neto (VAN):** Calcula la diferencia entre el valor presente de los beneficios esperados y el valor presente de los costos. Un VAN positivo indica que los beneficios superan los costos y el proyecto es económicamente viable.

- **Análisis de Rentabilidad:** Examina la relación entre los costos y los beneficios en términos porcentuales o proporcionales, proporcionando una medida directa de la rentabilidad del proyecto.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Determina la tasa de descuento a la cual el valor presente de los costos es igual al valor presente de los beneficios. Una TIR mayor que la tasa de descuento requerida indica un proyecto rentable.
- **Análisis de Sensibilidad:** Evalúa cómo las variaciones en los costos y beneficios afectan los resultados del análisis, permitiendo la identificación de los factores más críticos y la evaluación de riesgos asociados.

El análisis costo-beneficio debe considerar varios factores adicionales que pueden afectar los resultados:

- **Condiciones Ambientales:** Las condiciones climáticas y geográficas pueden influir en el rendimiento y la durabilidad del pavimento, así como en los costos de mantenimiento y rehabilitación.
- **Innovaciones Tecnológicas:** El uso de nuevas tecnologías y materiales puede afectar tanto los costos iniciales como los beneficios a largo plazo. Por ejemplo, el uso de mezclas asfálticas avanzadas puede reducir los costos de mantenimiento y mejorar la durabilidad.
- **Impactos Sociales y Ambientales:** Además de los costos y beneficios económicos, es importante considerar los impactos sociales y ambientales del proyecto. La mejora en la calidad de vida, la reducción de la contaminación y la promoción de la sostenibilidad son aspectos que también deben ser evaluados.

Los resultados del análisis costo-beneficio son fundamentales para la toma de decisiones en proyectos de pavimentación. Ayudan a los planificadores y responsables de proyectos a seleccionar las opciones más eficientes y rentables, a justificar la inversión y a priorizar proyectos en función de su viabilidad económica y su impacto general.

Un análisis costo-beneficio bien realizado proporciona una base sólida para la planificación y gestión de infraestructuras viales, asegurando que las inversiones se dirijan a proyectos que ofrezcan el mayor valor a largo plazo

### 2.2.11. Resistencia a Deformaciones en Asfaltos

La resistencia a deformaciones en asfaltos se refiere a la capacidad del material para resistir cambios en su forma y estructura bajo cargas repetitivas, evitando deformaciones permanentes como hundimientos y deformaciones plásticas (Rondón et al., 2015).

La resistencia a deformaciones en asfaltos es una propiedad crucial que determina la capacidad del material para mantener su forma y estructura bajo condiciones de carga repetitiva. Esta característica es esencial para evitar problemas como hundimientos y deformaciones plásticas, que pueden comprometer la integridad y seguridad del pavimento.

**Figura 8** Ahuellamiento



**Fuente:** Rondón et al., (2015)

Los asfaltos deben ser capaces de resistir varias formas de deformaciones, que incluyen:

- **Ahuellamiento o Rutting:** Deformaciones permanentes en la superficie del pavimento causadas por la acción de cargas repetitivas de vehículos, especialmente en condiciones de alta temperatura. Se manifiestan como surcos o canales en la superficie del pavimento.

- **Deformaciones Plásticas:** Cambios en la forma del pavimento que ocurren cuando el material se deforma permanentemente bajo la acción de cargas, sin recuperar su forma original después de que la carga ha sido retirada.
- **Deformaciones por Fatiga:** Fisuras o grietas que se desarrollan en el pavimento debido a la acumulación de cargas repetidas. Aunque no son deformaciones plásticas per se, afectan la capacidad del pavimento para mantener su forma y funcionalidad.

Varios factores influyen en la resistencia de los asfaltos a las deformaciones:

- **Composición de la Mezcla:** La proporción de agregados, el tipo de asfalto utilizado, y los modificadores de mezcla afectan la resistencia a deformaciones. Las mezclas con un alto contenido de asfalto y una adecuada gradación de agregados tienden a mostrar mejor resistencia.
- **Propiedades del Asfalto:** La viscosidad y la elasticidad del asfalto, que dependen de su tipo y del grado de modificación, influyen en cómo el material responde a las cargas repetidas. Asfaltos modificados con polímeros tienden a tener una mejor resistencia a las deformaciones.
- **Temperatura y Condiciones Climáticas:** Las altas temperaturas pueden suavizar el asfalto y hacerlo más susceptible a deformaciones plásticas. En contraste, las bajas temperaturas pueden hacer que el asfalto se vuelva más rígido y propenso a la formación de fisuras.
- **Carga y Tráfico:** La magnitud y la frecuencia de las cargas aplicadas por el tráfico vehicular afectan el comportamiento del pavimento. Pavimentos diseñados para soportar cargas pesadas y un tráfico intenso deben tener propiedades de resistencia a deformaciones superiores.

Para evaluar la resistencia a deformaciones de los asfaltos, se utilizan diversas pruebas en laboratorio y en campo:

- **Prueba de Rutting (Estabilidad de Carga):** Mide la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la formación de surcos bajo carga aplicada, utilizando un dispositivo como el Compactador de Ciclómetro (Wheel Tracking Device).

- **Ensayo de Deformación Plástica (Flow Number):** Evalúa la cantidad de deformación plástica que una mezcla asfáltica puede soportar bajo condiciones de carga repetitiva.
- **Prueba de Compresión Cíclica:** Determina cómo responde el asfalto a cargas cíclicas, simulando las condiciones de tráfico real y evaluando la acumulación de deformaciones.
- **Ensayo de Resiliencia:** Mide la capacidad del asfalto para recuperar su forma original después de la aplicación de una carga, evaluando la elasticidad del material.

Para mejorar la resistencia a deformaciones en mezclas asfálticas, se pueden implementar varias estrategias:

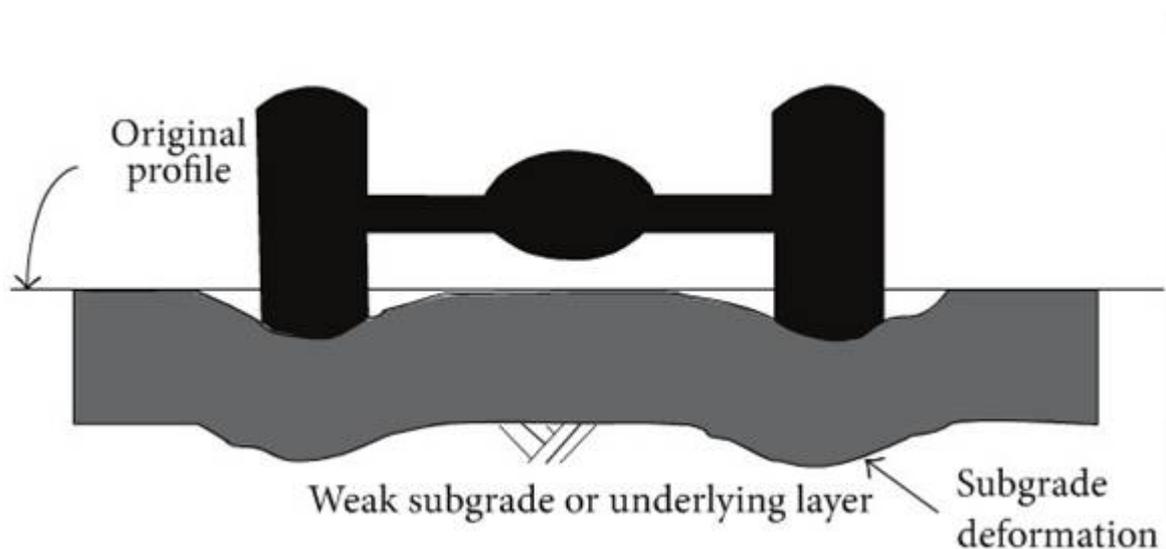
- **Uso de Modificadores de Asfalto:** La adición de polímeros o otros modificadores al asfalto puede mejorar sus propiedades viscoelásticas, aumentando la resistencia a deformaciones y la durabilidad.
- **Optimización de la Gradación de Agregados:** Ajustar la proporción y el tamaño de los agregados en la mezcla para mejorar la densidad y la cohesión puede ayudar a reducir las deformaciones.
- **Mejoras en el Diseño de la Mezcla:** Utilizar diseños de mezcla que incorporen técnicas como la mezcla caliente (Hot Mix) o la mezcla en frío (Cold Mix) adaptadas a las condiciones climáticas y de tráfico específicas puede aumentar la resistencia a deformaciones.
- **Rehabilitación y Mantenimiento:** La aplicación de capas superficiales de refuerzo o la realización de tratamientos de rejuvenecimiento puede ayudar a restaurar y mejorar la resistencia a deformaciones en pavimentos envejecidos o dañados.

#### **2.2.12. Durabilidad de Pavimentos Asfálticos:**

La durabilidad de pavimentos asfálticos es la capacidad del pavimento para conservar su integridad estructural y funcional a lo largo del tiempo, resistiendo los efectos del tráfico, las condiciones climáticas y otros factores ambientales (Montes et al., 2021).

La durabilidad de pavimentos asfálticos es una medida crítica de la capacidad del pavimento para mantener su integridad estructural y funcional a lo largo del tiempo, resistiendo los efectos del tráfico, las condiciones climáticas y otros factores ambientales. Un pavimento duradero no solo ofrece un servicio continuo y seguro, sino que también minimiza la necesidad de reparaciones frecuentes y costosas.

**Figura 9** Durabilidad de pavimentos



**Fuente:** Montes et al., (2021)

Varios factores influyen en la durabilidad de los pavimentos asfálticos:

- **Características del Asfalto:** La calidad y el tipo de asfalto utilizado, incluyendo el grado de penetración y las modificaciones con polímeros, afectan la resistencia del pavimento a la deformación, el envejecimiento y otros daños.
- **Propiedades de los Agregados:** La durabilidad de los agregados, incluyendo su resistencia al desgaste, dureza y susceptibilidad a la degradación, tiene un impacto directo en la longevidad del pavimento.
- **Diseño de la Mezcla:** La proporción de asfalto y agregados, así como la gradación de los agregados, influyen en la resistencia a la deformación y a los daños superficiales.
- **Condiciones Climáticas:** Los cambios de temperatura, la exposición a la humedad, la congelación y descongelación, y la radiación ultravioleta pueden afectar la durabilidad del pavimento. Los ciclos de congelación-descongelación

pueden causar la expansión y contracción del pavimento, mientras que la exposición prolongada al sol puede provocar el agrietamiento del asfalto.

- **Carga y Tráfico:** La intensidad y el tipo de tráfico (vehículos pesados vs. ligeros) pueden provocar un desgaste prematuro del pavimento. Las cargas repetitivas y las altas temperaturas pueden acelerar la formación de deformaciones y agrietamientos.
- **Mantenimiento y Reparaciones:** La frecuencia y calidad del mantenimiento preventivo y las reparaciones impactan significativamente en la durabilidad. Un mantenimiento adecuado puede prolongar la vida útil del pavimento al prevenir o mitigar daños.

Para evaluar la durabilidad de los pavimentos asfálticos, se utilizan varias pruebas y métodos:

- **Ensayos de Resistencia al Desgaste:** Pruebas como el ensayo de abrasión de Los Ángeles permiten evaluar la resistencia de los agregados al desgaste.
- **Pruebas de Fatiga y Resistencia a Grietas:** Ensayos de fatiga en laboratorio y pruebas de resistencia a grietas miden la capacidad del pavimento para resistir el daño bajo condiciones de carga repetitiva y cambios ambientales.
- **Monitoreo del Estado del Pavimento:** El uso de tecnologías como la deflectometría de impacto (FWD) y el perfilado láser para monitorear la superficie del pavimento proporciona información sobre el estado actual y permite detectar problemas antes de que se conviertan en fallas mayores.

Para mejorar la durabilidad de los pavimentos asfálticos, se pueden implementar diversas estrategias:

- **Uso de Asfaltos Modificados:** La incorporación de polímeros y otros aditivos al asfalto puede mejorar sus propiedades viscoelásticas, aumentando la resistencia al envejecimiento y a la deformación.
- **Optimización del Diseño de Mezcla:** Ajustar la proporción de asfalto y agregados, así como la gradación de los agregados, para garantizar una mezcla bien balanceada y duradera.

- **Aplicación de Tratamientos Superficiales:** La aplicación de selladores y capas de refuerzo puede proteger la superficie del pavimento contra el agua y los daños por UV, extendiendo su vida útil.
- **Planificación de Mantenimiento Preventivo:** Implementar un programa de mantenimiento regular y preventivo, que incluya inspecciones periódicas y reparaciones menores, para identificar y abordar problemas antes de que se agraven.

La gestión de problemas comunes que afectan la durabilidad incluye:

- **Cracking (Grietas):** Implementar técnicas de reparación de grietas y sellado para prevenir la entrada de agua y el deterioro adicional.
- **Potholes (Huecos):** Realizar reparaciones oportunas y efectivas para evitar que los huecos se agraven y causen más daños.
- **Deformaciones y Ahuellamiento:** Aplicar técnicas de rehabilitación, como el fresado y repavimentación, para corregir deformaciones y restaurar la superficie.

La gestión eficaz de la durabilidad de los pavimentos asfálticos no solo asegura una infraestructura vial más segura y eficiente, sino que también contribuye a la sostenibilidad y al ahorro de costos a largo plazo.

### **2.2.13. Pruebas de Laboratorio en Mezclas Asfálticas**

Las pruebas de laboratorio en mezclas asfálticas implican la realización de ensayos y análisis específicos para evaluar características mecánicas y físicas del asfalto y los agregados, proporcionando información crucial para el diseño y la calidad de la mezcla (Leiva-Villacorta y Vargas-Nordbeck, 2017).

Las pruebas de laboratorio en mezclas asfálticas son fundamentales para evaluar las características mecánicas y físicas tanto del asfalto como de los agregados. Estos ensayos proporcionan datos cruciales para garantizar la calidad y el rendimiento de la mezcla asfáltica, asegurando que cumpla con las especificaciones técnicas y los requisitos del proyecto.

**Figura 10** Pruebas de laboratorio



**Fuente:** Leiva-Villacorta y Vargas-Nordcbeck, (2017)

## **Tipos de Pruebas de Laboratorio**

### **1. Pruebas de Caracterización del Asfalto:**

- **Penetración:** Mide la dureza del asfalto mediante la profundidad a la que una aguja estándar penetra en el material bajo condiciones específicas de temperatura y carga. Esta prueba ayuda a clasificar el asfalto según su consistencia y dureza.
- **Viscosidad:** Evalúa la resistencia del asfalto al flujo a diferentes temperaturas, lo que es crucial para determinar la manejabilidad durante la mezcla y la aplicación. Se utilizan viscometros para medir la viscosidad en caliente y en frío.
- **Punto de Ablandamiento:** Determina la temperatura a la que el asfalto cambia de estado sólido a líquido, proporcionando información sobre su comportamiento a altas temperaturas.
- **Índice de Fluidéz (FI):** Mide la capacidad del asfalto para deformarse bajo estrés a altas temperaturas, evaluando su elasticidad y capacidad para resistir deformaciones permanentes.

### **2. Pruebas de Agregados:**

- **Granulometría:** Analiza la distribución del tamaño de las partículas en los agregados, lo que afecta la densidad y la cohesión de la mezcla asfáltica. Se utilizan tamices para determinar la proporción de cada tamaño de partícula.
- **Resistencia a la Abrasión:** La prueba de Los Ángeles mide la resistencia de los agregados al desgaste durante la manipulación y el tráfico, asegurando que los materiales sean duraderos y no se desintegren fácilmente.
- **Densidad y Absorción:** Determina la densidad y la capacidad de los agregados para absorber agua, lo que influye en la mezcla final y su capacidad para resistir el agua y la humedad.

### 3. Pruebas de Mezcla Asfáltica:

- **Estabilidad y Flujo:** Las pruebas de estabilidad y flujo, como el ensayo de Marshall o el ensayo de Superpave, evalúan la resistencia de la mezcla a las cargas y la capacidad para deformarse sin fallar. Estas pruebas ayudan a determinar la calidad de la mezcla y su capacidad para soportar el tráfico.
- **Vacíos en los Agregados y en la Mezcla:** Se mide el contenido de vacíos en los agregados y en la mezcla para asegurar una densidad adecuada y una buena adherencia entre los agregados y el asfalto. Un contenido óptimo de vacíos asegura la durabilidad y la resistencia a la deformación.
- **Compresión y Ciclismo de Carga:** Evalúa cómo la mezcla resiste el estrés cíclico simulado por la carga repetida, proporcionando información sobre la resistencia a la fatiga y la durabilidad a largo plazo.

### 4. Pruebas de Desempeño en Condiciones Ambientales:

- **Prueba de Ciclos de Congelación-Descongelación:** Simula las condiciones de congelación y descongelación para evaluar la resistencia de la mezcla asfáltica a los daños por cambios de temperatura.
- **Prueba de Resistencia a la Humedad:** Evalúa la capacidad de la mezcla para resistir la infiltración de agua y el daño asociado con la humedad, que puede provocar desintegración y pérdida de cohesión.

**Importancia de las Pruebas de Laboratorio:** las pruebas de laboratorio son esenciales para:

- **Diseño de Mezcla:** Garantizan que las mezclas asfálticas se diseñen de acuerdo con las especificaciones del proyecto y las condiciones ambientales, optimizando el rendimiento y la durabilidad.
- **Control de Calidad:** Permiten la verificación continua de la calidad de los materiales y las mezclas durante la producción y la construcción, asegurando que cumplan con los estándares requeridos.
- **Optimización de Rendimiento:** Ayudan a identificar y ajustar las proporciones de los componentes de la mezcla para mejorar el rendimiento en términos de resistencia, durabilidad y respuesta a las cargas.
- **Cumplimiento de Normativas:** Aseguran que las mezclas asfálticas cumplan con las normativas y especificaciones técnicas establecidas por las autoridades y los organismos reguladores.

Los resultados de estas pruebas se utilizan para ajustar los diseños de mezcla, mejorar las prácticas de producción y garantizar que los pavimentos asfálticos mantengan su rendimiento durante su vida útil. Las pruebas también proporcionan información valiosa para la rehabilitación y el mantenimiento de pavimentos existentes, ayudando a planificar intervenciones efectivas y oportunas.

#### **2.2.14. *Innovaciones en Materiales de Construcción de Vías***

Las innovaciones en materiales de construcción de vías se refieren a nuevos enfoques y tecnologías que buscan mejorar la eficiencia, durabilidad y sostenibilidad de la materia prima para construir y mantener las infraestructuras viales (Campagnoli, 2017).

Las innovaciones en materiales de construcción de vías abarcan nuevos enfoques y tecnologías que buscan mejorar la eficiencia, durabilidad y sostenibilidad de las infraestructuras viales. Estas innovaciones están transformando la manera en que se diseñan, construyen y mantienen los pavimentos, aportando beneficios significativos en términos de rendimiento e impacto ambiental.

**Figura 11** Materiales útiles para la construcción de vías



**Fuente:** Campagnoli, (2017)

### **Ejemplos de Innovaciones en Materiales**

1. **Asfaltos Modificados con Polímeros:** Los asfaltos modificados con polímeros, como el asfalto modificado con polímeros (PMA) y el asfalto modificado con caucho (RAP), mejoran las propiedades del material, aumentando su resistencia al envejecimiento, deformaciones y fisuración. Estos asfaltos ofrecen una mayor durabilidad y vida útil, así como una mejor capacidad de recuperación ante las cargas repetitivas.
2. **Mezclas Asfálticas con Materiales Reciclados:** La incorporación de materiales reciclados, como el asfalto reciclado (RAP) y residuos plásticos, reduce la necesidad de recursos vírgenes y promueve prácticas de construcción más sostenibles. Estas mezclas recicladas pueden mantener o incluso mejorar las propiedades del pavimento, al tiempo que disminuyen el impacto ambiental.
3. **Tecnología de Pavimentos Inteligentes:** Los pavimentos inteligentes incorporan sensores y tecnologías de monitoreo en tiempo real para evaluar el estado del pavimento, el tráfico y las condiciones ambientales. Estos sistemas permiten una gestión más eficaz del mantenimiento y la rehabilitación, optimizando la vida útil de la infraestructura vial.

4. **Materiales con Propiedades Auto Reparadoras:** Algunos nuevos materiales incluyen aditivos que permiten la auto reparación de pequeñas fisuras y daños en el pavimento. Estos materiales utilizan tecnologías como microcápsulas de agentes reparadores que se activan cuando el pavimento se daña, reduciendo la necesidad de reparaciones manuales y prolongando la vida útil del pavimento.
5. **Asfaltos Fríos y Calientes:** Los asfaltos fríos y calientes ofrecen soluciones para diferentes condiciones de construcción y mantenimiento. Los asfaltos fríos se aplican a temperaturas más bajas y son útiles para reparaciones rápidas, mientras que los asfaltos calientes, aplicados a temperaturas elevadas, proporcionan una mayor durabilidad y resistencia en nuevas construcciones.
6. **Tecnologías de Control de Emisiones:** Las nuevas tecnologías en la producción de asfalto y agregados buscan reducir las emisiones de gases contaminantes y mejorar la eficiencia energética en el proceso de fabricación. Estas tecnologías incluyen sistemas de recuperación de calor y procesos de producción más limpios.

### **Beneficios de las Innovaciones**

- **Eficiencia:** Las nuevas tecnologías y materiales pueden reducir el tiempo de construcción, mejorar la calidad del pavimento y optimizar los procesos de producción. Esto se traduce en una mayor eficiencia en el uso de recursos y menores costos operativos.
- **Durabilidad:** Los materiales innovadores ofrecen una mayor resistencia a las cargas, a los cambios climáticos y al envejecimiento, lo que se traduce en una mayor vida útil de los pavimentos y menos necesidades de mantenimiento.
- **Sostenibilidad:** La incorporación de materiales reciclados y tecnologías de producción más limpias reduce el impacto ambiental de la construcción vial. Esto ayuda a minimizar el uso de recursos naturales y a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Desempeño:** Las innovaciones mejoran el desempeño de los pavimentos en términos de resistencia al deslizamiento, capacidad de carga y

comportamiento en condiciones extremas, aumentando la seguridad y el confort para los usuarios de las vías.

Las innovaciones en materiales de construcción de vías están revolucionando la industria al permitir la creación de infraestructuras más duraderas, eficientes y ecológicas. Estas tecnologías no solo abordan los desafíos actuales en la construcción y mantenimiento de pavimentos, sino que también sientan las bases para futuras mejoras y desarrollos en la infraestructura vial.

### **2.2.15. Propiedades Viscosas del Asfalto Modificado**

Las propiedades viscosas del asfalto modificado describen cómo la viscosidad del asfalto cambia con la introducción de aditivos como polímeros, lo que puede afectar la capacidad de flujo y las propiedades reológicas del asfalto. La viscosidad es una medida clave que influye en la capacidad de flujo del asfalto y su comportamiento bajo diferentes condiciones de temperatura y carga. (Castro et al., 2016).

**Figura 12** Viscosidad del asfalto



**Fuente:** Castro et al., (2016)

### **Efectos de los Aditivos en las Propiedades Viscosas**

1. **Polímeros:** La incorporación de polímeros en el asfalto, como el polipropileno, el poliestireno o el caucho reciclado, puede modificar significativamente la viscosidad del material. Estos aditivos pueden aumentar la viscosidad a altas

temperaturas, proporcionando una mayor resistencia a la deformación plástica (huellamiento) y una mejor estabilidad estructural.

- **Polímeros Estirénicos:** Los polímeros como el SBS (estireno-butadieno-estireno) aumentan la viscosidad del asfalto en temperaturas elevadas, mejorando su resistencia a la deformación bajo cargas pesadas. También incrementan la elasticidad, permitiendo que el asfalto recupere su forma original después de la deformación.
  - **Caucho Reciclado:** El uso de caucho reciclado en el asfalto puede aumentar la viscosidad y mejorar la resistencia al agrietamiento y la fatiga, además de ofrecer beneficios ambientales al reciclar materiales usados.
2. **Modificadores Químicos:** Otros aditivos químicos, como los plastificantes y los estabilizantes, pueden alterar la viscosidad del asfalto para adaptarlo a diferentes condiciones de aplicación. Estos modificadores ayudan a ajustar el comportamiento del asfalto durante la mezcla y la colocación, así como su rendimiento a largo plazo.
  3. **Nanotecnología:** La incorporación de nanopartículas en el asfalto puede influir en sus propiedades viscosas, mejorando la estabilidad térmica y la resistencia a la deformación. La nanotecnología permite una mayor personalización del asfalto para cumplir con requisitos específicos de rendimiento.

### **Implicaciones para el Rendimiento y Aplicación**

- **Capacidad de Flujo:** Un asfalto con viscosidad modificada puede ofrecer una mejor trabajabilidad durante la mezcla y la colocación. Sin embargo, una viscosidad excesiva puede dificultar la aplicación y el extendido del asfalto.
- **Resistencia a Deformaciones:** La viscosidad aumentada ayuda a mejorar la resistencia a la deformación plástica y al agrietamiento, especialmente en condiciones de alta carga y temperaturas elevadas. Esto es crucial para el rendimiento de pavimentos en zonas con tráfico pesado y climas extremos.
- **Comportamiento Reológico:** La modificación de la viscosidad también afecta las propiedades reológicas del asfalto, como su elasticidad y la capacidad de recuperación. Un asfalto modificado con polímeros suele tener un

comportamiento más elástico, lo que contribuye a una mayor resistencia al agrietamiento y a la deformación.

- **Durabilidad y Vida Útil:** La mejora de las propiedades viscosas puede traducirse en una mayor durabilidad del pavimento, reduciendo la necesidad de mantenimiento y reparaciones. Esto es especialmente importante para prolongar la vida útil de las infraestructuras viales y optimizar los costos de ciclo de vida.

### **Evaluación de Propiedades Viscosas**

Para evaluar las propiedades viscosas del asfalto modificado, se realizan pruebas como:

- **Viscosidad Brookfield:** Mide la viscosidad del asfalto a diferentes temperaturas, proporcionando información sobre su comportamiento durante el proceso de mezcla y aplicación.
- **Ensayo de Fluidez:** Evalúa cómo el asfalto fluye bajo condiciones de carga controlada, ayudando a determinar su capacidad para resistir deformaciones bajo tráfico.
- **Pruebas de Temperatura:** Analiza cómo la viscosidad cambia con la temperatura, lo que es crucial para entender el rendimiento del asfalto en diferentes condiciones climáticas.

#### **2.2.16. Análisis del Tiempo de Vida de Pavimentos**

Evalúa el impacto ambiental considerando factores como la sostenibilidad a lo largo de su vida útil, la energía utilizada y las emisiones del pavimento, que abarca todo el proceso desde la obtención de materias primas hasta su uso definitivo. (Castellanos y Chaves, 2020).

### **Obtención de Materias Primas**

- **Extracción de Recursos:** La extracción de agregados y la producción de asfalto pueden tener impactos significativos en el medio ambiente, incluyendo la alteración del paisaje, la pérdida de hábitats naturales y la generación de polvo y ruido.

- **Consumo de Energía:** La extracción y procesamiento de materias primas requieren grandes cantidades de energía, contribuyendo a las emisiones de gases de efecto invernadero. Evaluar la eficiencia energética de estos procesos es esencial para entender su impacto ambiental.

## 2. Producción del Pavimento

- **Procesos de Fabricación:** La producción de mezclas asfálticas implica el uso de calor y maquinaria pesada, que pueden generar emisiones de CO<sub>2</sub>, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV). La implementación de tecnologías de control de emisiones y el uso de equipos más eficientes pueden reducir estos impactos.
- **Materiales Modificadores:** El uso de aditivos y materiales reciclados puede influir en la sostenibilidad del pavimento. Evaluar los beneficios y posibles impactos de estos materiales es crucial para una evaluación completa.

## 3. Transporte e Instalación

- **Transporte de Materiales:** El transporte de materiales desde la planta de producción hasta el sitio de construcción contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero. Optimizar las rutas de transporte y utilizar vehículos con bajas emisiones puede mitigar este impacto.
- **Proceso de Instalación:** La instalación del pavimento puede generar polvo, ruido y emisiones. La aplicación de métodos de construcción más limpios y eficientes puede reducir estos efectos.

## 4. Uso y Mantenimiento

- **Desempeño y Durabilidad:** La vida útil del pavimento y su resistencia al desgaste afectan la frecuencia y la intensidad del mantenimiento necesario. Un pavimento duradero y de alto rendimiento puede reducir la necesidad de reparaciones frecuentes, lo que a su vez disminuye el impacto ambiental asociado con el mantenimiento.
- **Mantenimiento y Reparaciones:** Evaluar los métodos de mantenimiento y las técnicas de reparación utilizadas es importante para entender su impacto

ambiental. Las técnicas que reducen la necesidad de materiales nuevos y minimizan las emisiones son preferibles.

## 5. Fin de Vida y Reciclaje

- **Degradación y Eliminación:** Al final de su vida útil, el pavimento puede ser sometido a procesos de demolición y eliminación. Evaluar cómo se gestionan los residuos y el potencial de reciclaje es esencial para minimizar el impacto ambiental.
- **Reciclaje y Reutilización:** El reciclaje de materiales asfálticos y el uso de pavimentos reciclados pueden reducir la demanda de materias primas nuevas y disminuir el impacto ambiental asociado con la disposición de residuos.

## 6. Estrategias para Mitigar el Impacto Ambiental

- **Uso de Materiales Reciclados:** Incorporar materiales reciclados y residuos industriales en la mezcla asfáltica puede reducir el consumo de recursos vírgenes y minimizar el impacto ambiental.
- **Tecnologías Limpias:** Implementar tecnologías de producción y construcción que reduzcan las emisiones y el consumo de energía, como sistemas de recuperación de calor y equipos de bajo impacto, puede mejorar la sostenibilidad.
- **Diseño Sostenible:** Diseñar pavimentos que maximicen la durabilidad y reduzcan la necesidad de mantenimiento puede contribuir a una menor huella ambiental a lo largo de su vida útil.
- **Certificaciones Ambientales:** Obtener certificaciones ambientales, como la norma ISO 14001, puede ayudar a asegurar que los procesos de producción y construcción cumplen con estándares ambientales rigurosos.

## 7. Métodos de Evaluación

- **Análisis del Ciclo de Vida (LCA):** Evaluar el impacto ambiental de los pavimentos a través del Análisis del Ciclo de Vida (LCA) permite considerar todas las etapas del ciclo de vida, desde la obtención de materias primas hasta la disposición final.

- **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):** Realizar evaluaciones de impacto ambiental para proyectos de pavimentación ayuda a identificar y mitigar los posibles efectos negativos en el entorno.
- **Monitoreo Continuo:** Implementar sistemas de monitoreo para evaluar las emisiones, el consumo de energía y otros indicadores ambientales durante la construcción y el uso del pavimento.

### 2.2.17. *Viabilidad Técnica de Asfaltos Modificados*

La viabilidad técnica de asfaltos modificados aborda la practicidad y eficacia de la incorporación de aditivos o modificadores en el asfalto para optimizar sus características, considerando factores como la durabilidad y rendimiento del pavimento resultante. Evaluar la viabilidad técnica implica considerar diversos aspectos que aseguren que las modificaciones propuestas aporten beneficios sin comprometer la funcionalidad y la eficiencia del pavimento (Castellanos y Chaves, 2020).

**Figura 13** Asfalto modificado



**Fuente:** Castellanos y Chaves, (2020)

#### **Compatibilidad de Aditivos**

- **Interacción con Asfalto Base:** Es esencial evaluar cómo los aditivos interactúan con el asfalto base. Los modificadores deben ser compatibles para garantizar una mezcla homogénea y evitar problemas como la separación de fases o la alteración negativa de las propiedades del asfalto.

- **Efectos sobre Propiedades Reológicas:** La incorporación de aditivos debe mejorar las propiedades reológicas del asfalto, como la viscosidad y la elasticidad, sin provocar efectos adversos que puedan comprometer el desempeño del pavimento.

## 2. Evaluación de Desempeño

- **Ensayos de Durabilidad:** Realizar pruebas de durabilidad para evaluar cómo el asfalto modificado resiste las condiciones ambientales, el tráfico y el envejecimiento. Esto incluye pruebas de resistencia a la fatiga, agrietamiento y deformaciones plásticas.
- **Pruebas de Rendimiento en Campo:** Implementar proyectos piloto o estudios de caso para evaluar el desempeño del asfalto modificado en condiciones reales de uso. Estos estudios proporcionan datos prácticos sobre la efectividad de los modificadores en el entorno de aplicación.

## 3. Escalabilidad y Costos

- **Producción a Escala:** Evaluar la viabilidad técnica también implica considerar la capacidad de escalar la producción del asfalto modificado. Esto incluye la disponibilidad de aditivos, la capacidad de la planta de mezcla y la integración con los procesos de construcción existentes.
- **Análisis de Costos:** Analizar los costos asociados con la incorporación de aditivos, incluyendo el costo de los materiales, el proceso de mezcla y la aplicación. Comparar estos costos con los beneficios esperados en términos de durabilidad y desempeño es fundamental para determinar la viabilidad económica.

## 4. Requisitos de Aplicación y Construcción

- **Adaptación de Equipos:** Determinar si los equipos de mezcla y aplicación existentes son adecuados para trabajar con el asfalto modificado o si se requieren ajustes o nuevas adquisiciones. La adaptabilidad de los equipos es crucial para una implementación exitosa.

- **Métodos de Aplicación:** Evaluar si los métodos de aplicación y construcción deben modificarse para acomodar las propiedades del asfalto modificado. Esto incluye la temperatura de aplicación, el tiempo de curado y las técnicas de compactación.

## 5. Cumplimiento Normativo y Estándares

- **Normativas y Certificaciones:** Verificar que el asfalto modificado cumpla con las normativas y estándares técnicos vigentes en la industria de la construcción vial. Esto asegura que el producto sea aceptable para proyectos públicos y privados.
- **Certificación de Calidad:** Obtener certificaciones que garanticen la calidad y la conformidad del asfalto modificado con las especificaciones requeridas.

## 6. Beneficios y Limitaciones

- **Beneficios:** Enumerar los beneficios esperados del asfalto modificado, como una mayor resistencia al desgaste, menor mantenimiento, y mejor desempeño en condiciones extremas. Evaluar cómo estos beneficios se traducen en mejoras prácticas y económicas.
- **Limitaciones:** Identificar y abordar posibles limitaciones o desafíos asociados con el uso de asfaltos modificados, como la disponibilidad de materiales, la necesidad de ajustes en los procesos de construcción, o la variabilidad en el desempeño.

## 7. Estudios de Casos y Datos Empíricos

- **Casos de Estudio:** Incluir ejemplos de estudios de caso o proyectos en los que se haya implementado asfalto modificado con éxito. Estos ejemplos proporcionan evidencia práctica y datos reales sobre la viabilidad técnica y los beneficios de los modificadores.
- **Datos de Investigación:** Referenciar estudios e investigaciones que respalden la eficacia de los aditivos y modificadores utilizados en asfaltos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones.

### **2.2.18. Mezcla asfáltica modificada**

Es una composición de materiales asfálticos y aditivos diseñados para mejorar las propiedades del asfalto tradicional. El asfalto modificado busca superar algunas de las limitaciones inherentes al asfalto convencional, como su susceptibilidad a la deformación por altas temperaturas, fragilidad en bajas temperaturas y susceptibilidad al envejecimiento.

Los aditivos utilizados en las mezclas asfálticas modificadas pueden incluir polímeros (como polímeros elastoméricos o termoplásticos), compuestos químicos y materiales que mejoran las propiedades térmicas, mecánicas y reológicas del asfalto. Estos aditivos pueden incrementar la resistencia a la fatiga y a las variaciones de temperatura, así como elasticidad y durabilidad de la mezcla asfáltica

Con el objetivo lograr un pavimento más resistente y duradero, capaz de soportar mejor las tensiones y deformaciones causadas por el tráfico vehicular y las condiciones climáticas adversas. Estas mezclas asfálticas modificadas son empeladas en la fabricación y rehabilitación de carreteras, pistas de aeropuertos y otras superficies de pavimento.

### **2.2.19. Estabilizador asfáltico**

El término "estabilizador" en el contexto de mezclas asfálticas se refiere a un aditivo o agente estabilizador utilizado para mejorar el rendimiento y características de la mezcla. Estos estabilizadores se añaden a las mezclas asfálticas para mejorar su resistencia y durabilidad, especialmente en situaciones donde las condiciones del suelo o las cargas vehiculares pueden afectar negativamente el desempeño del pavimento. Existen diferentes tipos de estabilizadores que pueden incluir productos químicos, fibras, o incluso cemento. Estos estabilizadores pueden tener varios efectos beneficiosos, como aumentar, mejorar la cohesión de la mezcla, reducir la susceptibilidad al agua y mejorar la durabilidad general del pavimento.

En resumen, un estabilizador en mezclas asfálticas es un componente adicional que se incorpora para optimizar las propiedades y el comportamiento de la mezcla, brindando mayor estabilidad y resistencia a las condiciones adversas. La

Figura 1 muestra el residuo de PVC tipo blíster empleado para modificar la mezcla asfáltica convencional.

**Figura 14** Material de desecho tipo blíster



**Fuente:** Cruz et al., (2021)

### **2.2.20. Tipos de Estabilizadores Asfálticos**

Los estabilizadores asfálticos son aditivos que se utilizan para mejorar las propiedades del asfalto en mezclas asfálticas, pueden variar en función de su composición y su función específica. La elección del estabilizador asfáltico dependerá de las características específicas requeridas para el proyecto de pavimentación y las condiciones ambientales a las que estará expuesto el pavimento.

- **Estabilizadores Poliméricos:** estos aditivos suelen ser polímeros elastoméricos o termoplásticos que se incorporan al asfalto para mejorar su elasticidad y resistencia a la deformación. Estos polímeros pueden ayudar a reducir la susceptibilidad del asfalto al agrietamiento por fatiga.
- **Estabilizadores de Caucho:** se utilizan compuestos de caucho reciclado o caucho modificado para mejorar la flexibilidad y la resistencia del asfalto. El caucho puede provenir de neumáticos reciclados y se agrega al asfalto para proporcionar propiedades elásticas y mejorar la resistencia al envejecimiento.

### **2.2.21. *Asfalto Modificado con Polímeros***

En lugar de agregar polímeros por separado, algunos estabilizadores asfálticos son mezclas preexistentes de asfalto y polímeros. Estas mezclas están diseñadas para mejorar la resistencia a la deformación y aumentar la vida útil del pavimento.

### **2.2.22. *Modificación con caucho***

Similar a los estabilizadores de caucho, esta categoría implica la adición directa de fragmentos de caucho modificado en el asfalto para mejorar la flexibilidad y la resistencia al agrietamiento.

### **2.2.23. *Soluciones Asfálticas Estabilizadas***

Son mezclas de asfalto y agua estabilizadas con agentes tensoactivos. Estos aditivos pueden mejorar la trabajabilidad del asfalto y su capacidad para adherirse a los agregados.

### **2.2.24. *Aditivos Químicos***

Se pueden utilizar diversos aditivos químicos para mejorar propiedades específicas del asfalto, como su resistencia al agua, capacidad de adhesión, y resistencia al envejecimiento.

### **2.2.25. *Parámetros de control***

En el Ecuador se cuenta con estudios de los parámetros de control máximos y mínimos que debe cumplir el asfalto, el cual se usa para estimar la calidad del asfalto. Mediante la figura 15 se observa los parámetros de control que debe cumplir el asfalto en diferentes ensayos y con su límite mínimo y máximo, para dos intervalos (60-70) y (85-100).

**Figura 15** Parámetros de control del asfalto

ENSAYOS	60-70		85-100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<i>Betún original</i>				
Penetración (25°C, 100 gr, 5 s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Indice de penetración (*).	- 1.5	+ 1.5	- 1.5	+ 1.5
Ductilidad (25°C, 5 cm/minuto), cm.	100	-----	100	-----
Contenido de agua (en volumen), %.	-----	0.2	-----	0.2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	-----	99	-----
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C.	232	-----	232	-----
Densidad Relativa, 25 °C/ 25 °C	1.00	-----	1.00	-----
Ensayo de la mancha (* *)	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %.	-----	2.2	-----	2.2
<b>Ensayos al residuo del TFOT:</b>				
Variación de masa, %.	-----	0.8	-----	1.0
Penetración, % de penetración original.	54	-----	50	-----
Ductilidad, cm.	50	-----	75	-----
Resistencia al endurecimiento (***)	-----	5.0	-----	5.0

Sección 810-2.1, (MOP – 001 – F – 2002 para Pen. 60-70 y 85-100)

**Fuente:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas (s.f)

### 2.2.26. **Fatiga de mezclas asfálticas**

La fatiga en las mezclas asfálticas representa uno de los principales desafíos en el desgaste del primer recubrimiento en el pavimento, afectando directamente la calidad del mismo. Este problema surge debido a los esfuerzos excesivos generados por las cargas vehiculares a las que está sometido, resultando en la pérdida de rigidez y eventual formación de fisuras y grietas. La vida útil de los pavimentos asfálticos está estrechamente vinculada a este fenómeno, por lo que es crucial implementar correcciones apropiadas para mitigar este tipo de deterioro.

### 2.2.27. **Ensayos para la comparación de mezclas asfálticas**

La realización de la comparación y análisis de mezclas asfálticas involucró dos ensayos específicos: el Módulo de Rigidez y el Ensayo de Marshall. El Módulo de Rigidez (constante elástica), también conocido como “Módulo Dinámico” en el contexto de mezclas asfálticas, evalúa la capacidad del pavimento para responder a eventos dinámicos, y su desempeño se ve perjudicado por la temperatura y la frecuencia de carga. En el caso del compuesto asfáltico, el Módulo Dinámico refleja la habilidad del pavimento para adaptarse a cambios de temperatura durante su servicio, disminuyendo notablemente a medida que la temperatura aumenta, en

relación directa con las propiedades dinámicas. La frecuencia de carga, influenciada por el tráfico pesado, también impacta en la respuesta del pavimento, generando módulos más elevados conforme aumenta la velocidad y la frecuencia de carga. (Loma, 2013)

Por otro lado, el ensayo de Marshall busca identificar el contenido óptimo de asfalto para un tipo específico de compuesto asfáltico. Este ensayo establece intervalos permisibles para propiedades como consistencia, estabilidad, imperfección, contenido de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral, fundamentales en compuestos asfálticos en caliente (Padilla, 2012).

### **2.3 Marco Teórico Legal**

Norma NEVI -12 volumen 3 Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013). Capítulo 400 Estructura del Pavimento. Sección 401 Mejoramiento De La Subrasante.

#### **401-1. Descripción**

Cuando así se establezca en el proyecto, o lo determine el Fiscalizador, la capa superior del camino, es decir, hasta nivel de subrasante, ya sea en corte o terraplén, se formará con suelo seleccionado, estabilización con cal; estabilización con material pétreo, membranas sintéticas, o mezcla de materiales previamente seleccionados y aprobados por el Fiscalizador, en las medidas indicadas en los planos, o en las que ordene el Fiscalizador.

#### **401-2. Mejoramiento con suelo seleccionado**

El suelo seleccionado se obtendrá de la excavación para la plataforma del camino, de excavación de préstamo, o de cualquier otra excavación debidamente autorizada y aprobada por el Fiscalizador. Deberá ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm.) con abertura cuadrada y no más

de 20 por ciento pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm), de acuerdo con el ensayo AASHO-T.11.

La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0.425 mm.) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 10%, tal como se determina en el ensayo AASHO-T-91. Material de tamaño mayor al máximo especificado, si se presenta, deberá ser retirado antes de que se incorpore al material en la obra.

El Contratista deberá desmenuzar, cribar, mezclar o quitar el material, conforme sea necesario, para producir un suelo seleccionado que cumpla con las especificaciones correspondientes. De no requerir ningún procesamiento para cumplir las especificaciones pertinentes, el suelo seleccionado será transportado desde el sitio de excavación e incorporado directamente a la obra. La distribución, conformación y compactación del suelo seleccionado se efectuará de acuerdo con los requisitos de los numerales 402-1.05.1 de las Especificaciones Generales; sin embargo, la densidad de la capa compactada deberá ser el 95% en vez del 100% de la densidad máxima, según AASHO.T.180, método D.

En casos especiales, siempre que las características del suelo y humedad y más condiciones climáticas de la región del proyecto lo exijan, se podrá considerar otros límites en cuanto al tamaño, forma de compactar y el porcentaje de compactación exigible. Sin embargo, en estos casos, la capa de 20 cm., inmediatamente anterior al nivel de subrasante, deberá necesariamente cumplir con las especificaciones antes indicadas.

#### **401-2.01. Equipo**

El Contratista deberá dedicar a estos trabajos todo el equipo adecuado necesario para la debida u oportuna ejecución de los mismos. El equipo deberá ser mantenido en óptimas condiciones de funcionamiento. Como mínimo este equipo deberá constar de equipo de transporte, esparcimiento, mezclado, humedecimiento, conformación, compactación y, de ser necesario, planta de cribado.

## **401-2.02. Tolerancias**

Previa a la colocación de las capas de subbase, base y superficie de rodadura, se deberá conformar y compactar el material a nivel de subrasante, de acuerdo con los requisitos de las subsecciones 305- 1 y 305-2. Al final de estas operaciones, la subrasante no deberá variar en ningún lugar de la cota y secciones transversales establecidas en los planos o por el Fiscalizador, en más de 2 cm.

Una vez terminada la explanación se hará deflectometría cada 25 metros alternados en ambos sentidos, es decir, en cada uno de los carriles, mediante el empleo de la viga Benkelman el FWD o cualquier equipo de alta confiabilidad, antes de cubrir la subrasante con la subbase o con la base granular. Se analizará la deformada o curvatura de la deflexión obtenida de por lo menos tres mediciones por punto.

Los puntos de medición estarán referenciados con el estacado del proyecto, de tal manera que exista una coincidencia con relación a las mediciones que se efectúen a nivel de carpeta. Se requiere un estricto control de calidad tanto de los materiales como de los equipos, procedimientos constructivos y en general de todos los elementos involucrados en la puesta en obra de la subrasante.

De dicho control forman parte la medición de las deflexiones que se menciona en el primer párrafo. Un propósito específico de la medición de deflexiones sobre la subrasante es la determinación de problemas puntuales de baja resistencia que puedan presentarse durante el proceso constructivo, su análisis y la oportuna aplicación de los correctivos a que hubiere lugar y la verificación de las capacidades de carga de la subrasante definida en el diseño. Los trabajos e investigaciones antes descritos serán ejecutados por el Contratista.

El Contratista deberá cumplir con la provisión del equipo de trabajo y el control de tránsito. Para el caso de la viga Benkelman el Contratista proveerá un volquete operado con las siguientes características:

- Clasificación del vehículo: C2

- Peso con carga en el eje posterior: 8200 kilogramos
- Llantas del eje posterior: Dimensión 10 x 20, doce lonas.
- Presión de inflado: 552 Kpa (5.6 kg f/cm<sup>2</sup> o 980 psi). Excelente estado.
- El vehículo estará a disposición hasta que sean concluidas todas las evaluaciones de deflectometría.

El contratista garantizará que el radio de curvatura de la deformada de la capa que determine en obra sea preciso, para lo cual hará la provisión del equipo idóneo para la medición de las deflexiones. Así mismo, para la ejecución de los ensayos deflectométricos, el Contratista hará la provisión del personal técnico, papelería, equipo de viga Benkelman doble o simples, equipo FWD u otro aprobado por la Fiscalización, acompañante y en general, de todos los elementos que sean requeridos para llevar a efecto satisfactoriamente los trabajos antes descritos.

Los ensayos de deflectometría serán también realizados con las mismas condiciones y exigencias en las subrasantes terminadas en sección en terraplén. De cada tramo que el Contratista entregue a la Fiscalización completamente terminado para su aprobación, deberá enviar un documento técnico con la información de deflectometría, procesada y analizada. La Fiscalización tendrá veinticuatro (24) horas hábiles para responder, informando las medidas correctivas que sean necesarias. Se requiere realizar el procedimiento indicado, para colocar la capa estructural siguiente.

**Norma AASHTO T 321-17 Método estándar de prueba para determinar la fatiga en 4 puntos (AASHTO, 2017).**

**Alcance:**

- Mezclas asfálticas compactadas empleadas en la fabricación de pavimentos.

**Equipo:**

- Se requiere una máquina de ensayo de fatiga de cuatro puntos.
- La máquina debe ser capaz de aplicar una carga cíclica de cuatro puntos a la probeta.
- La máquina debe medir la deformación en la parte inferior de la probeta.

**Probetas:**

- Las probetas se deben preparar de acuerdo con la norma AASHTO T 245.
- Las probetas deben tener una forma rectangular y unas dimensiones específicas.

**Procedimiento:**

- La probeta se sujeta a la máquina de ensayo de fatiga.
- Se aplica una carga cíclica de cuatro puntos a la probeta.
- Se mide la deformación en la parte inferior de la probeta.
- El ensayo se realiza hasta que la probeta falla.

**Cálculo de la durabilidad por fatiga:**

- La durabilidad por fatiga es la cantidad de ciclos de carga necesarios para que se produzca un fallo en la probeta.
- La vida de fatiga se calcula a partir de la curva de deformación-ciclos.

**Informe:**

- Se debe preparar un informe que incluya los siguientes datos:
- Información sobre la mezcla asfáltica.
- Dimensiones de la probeta.
- Resultados del ensayo.
- Cálculo de la vida de fatiga.

**Norma AASHTO T 308: “Método de ensayo estándar para la determinación de la estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas en caliente” (AASHTO, 2017)****Alcance:**

- Este método permite determinar la resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas, una propiedad crucial para el desempeño de los pavimentos.

**Equipo:**

- Es necesario el compactador Marshall.
- Se requiere un molde Marshall.
- Se requiere un martillo Marshall.
- Se requiere una balanza.
- Se requiere un horno.

**Probetas:**

- Se preparan seis probetas de mezcla asfáltica compactada.
- Las probetas se compactan en el molde Marshall utilizando el compactador Marshall.

**Procedimiento:**

- Se calientan las probetas a una temperatura específica.
- Se coloca la probeta en el aparato de ensayo Marshall.
- Se aplica una carga axial a la probeta a una velocidad constante.
- Se mide la deformación de la probeta.
- Se continúa la aplicación de la carga hasta que la probeta falla.

**Cálculo de la estabilidad Marshall:**

- La estabilidad Marshall se define como la máxima carga que la probeta puede soportar antes de fallar.
- La estabilidad Marshall se calcula a partir de la curva de carga-deformación.

**Informe:**

- Se debe preparar un informe que incluya los siguientes datos:
- Información sobre la mezcla asfáltica.
- Dimensiones de las probetas.
- Resultados del ensayo.
- Cálculo de la estabilidad Marshall.

**Interpretación de resultados:**

- La estabilidad Marshall refleja la capacidad de la mezcla asfáltica para mantener su forma bajo cargas de compresión.
- Un valor alto de estabilidad Marshall indica que la mezcla asfáltica es resistente a la deformación permanente.
- Por el contrario, un valor bajo de estabilidad Marshall sugiere que la mezcla asfáltica es propensa a deformarse bajo cargas.

**Limitaciones:**

- Si bien la estabilidad Marshall es un indicador útil de la resistencia a la deformación plástica, es importante reconocer que no es un predictor único de la vida útil del pavimento.

- Este ensayo proporciona información valiosa sobre la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la deformación bajo cargas, pero no considera otros factores que pueden afectar el desempeño del pavimento a largo plazo.
- Para una evaluación completa de la calidad de las mezclas asfálticas, se requiere complementar el ensayo Marshall con otras pruebas y análisis.

**Norma AASHTO M 323: Especificación estándar para el cemento asfáltico modificado con polímeros ACMP (AASHTO, 2017).**

**Alcance:**

- El ACMP se utiliza en la construcción de pavimentos asfálticos para optimizar la deformación por fatiga, la flexibilidad y la estabilidad.

**Requisitos:**

- El ACMP debe cumplir con los siguientes requisitos:
  - Propiedades físicas:
    - Penetración
    - Punto de reblandecimiento
    - Viscosidad
    - Ductilidad
  - Propiedades reológicas:
    - Módulo de corte complejo
    - Ángulo de fase
  - Propiedades de comportamiento:
    - Resistencia a la fatiga
    - Resistencia a la fisuración
    - Durabilidad

**Ensayos:**

- Se deben realizar los siguientes ensayos para verificar que el ACMP cumple con los requisitos:
  - Propiedades físicas:
    - Penetración (AASHTO T 49)
    - Punto de reblandecimiento (AASHTO T 53)
    - Viscosidad (AASHTO T 201)

- Ductilidad (AASHTO T 51)
- Propiedades reológicas:
  - Módulo de corte complejo (AASHTO T 315)
  - Ángulo de fase (AASHTO T 315)
- Propiedades de comportamiento:
  - Resistencia a la fatiga (AASHTO T 321)
  - Resistencia a la fisuración (AASHTO T 308)
  - Durabilidad (AASHTO R 29)

**Marcado:**

- Los contenedores de ACMP deben estar marcados con la siguiente información:
  - Grado del ACMP
  - Nombre del fabricante
  - Número de lote
  - Fecha de fabricación

**Precauciones:**

- El ACMP debe manipularse y almacenarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- El ACMP debe calentarse a la temperatura adecuada antes de su uso

**2.3.1. Justificación del uso de estas normas**

La Norma NEVI-12, desempeña un papel fundamental en la investigación, su utilidad se fundamenta en el carácter de directriz técnica, proporcionando un marco integral para el transporte y el desarrollo de la estructura de las carreteras en Ecuador. La NEVI-12 se erige sobre principios esenciales como la equidad, la equivalencia, la participación, la excelencia, la información, la sostenibilidad ambiental y la competitividad sistemática. Estos principios no solo reflejan la orientación ética y técnica de la normativa, sino que también respaldan la importancia de considerar factores diversos en el ámbito vial.

En el contexto de la investigación, la NEVI-12 establece un procedimiento que guía la formulación de políticas, criterios y metodologías específicas. Estos elementos son cruciales para asegurar el cumplimiento de estándares técnicos en cada fase de

los proyectos viales, desde la planificación hasta la evaluación de arterias viales. La norma no solo proporciona directrices para el diseño y la evaluación, sino que también enfatiza la importancia de garantizar la calidad y durabilidad de las carreteras y puentes.

Además, la NEVI-12 aborda de manera integral preocupaciones medioambientales al buscar mitigar el impacto ambiental de los proyectos viales. En el contexto de la investigación, donde se exploran mezclas asfálticas modificadas con desechos de PVC tipo blíster, este enfoque de sostenibilidad ambiental se alinea estrechamente con los objetivos del trabajo.

La referencia AASHTO y su metodología AASHTO-93 para el diseño de estructuras de pavimento flexible es esencial en la investigación debido a su reconocida autoridad y aceptación en el ámbito internacional. La AASHTO-93 establece pautas específicas y criterios técnicos que son cruciales para el diseño eficiente y seguro de pavimentos flexibles. Esta metodología se ha consolidado como un estándar confiable en ingeniería de carreteras, proporcionando directrices detalladas para la selección de materiales, el diseño estructural y la evaluación del desempeño de pavimentos.

Al incorporar la AASHTO-93 en la investigación, brinda beneficio de un marco normativo riguroso respaldado por la expertise y comprensión acumulada de expertos en el campo de la ingeniería vial. La metodología AASHTO-93 no solo se centra en la resistencia estructural de los pavimentos, sino que también aborda aspectos como la durabilidad y la capacidad de carga, elementos críticos en el análisis del rendimiento de compuestos asfálticos bajo diferentes condiciones y cargas de tráfico.

En conclusión, la inclusión de la norma NEVI-12 como la metodología AASHTO-93 en el trabajo fortalece la base técnica de la investigación al emplear un enfoque reconocido a nivel nacional e internacional.

## **Clasificación vial**

### **1. Clasificación por capacidad (función del TPDA)**

**Objetivo:** Elevar los estándares de las carreteras nacionales, optimizando la eficiencia y seguridad del tránsito.

#### **Fundamentación:**

- Datos de tráfico a nivel nacional recabados por el MTOP (Sept/2012).
- Estadísticas de accidentes en las vías ecuatorianas.
- Análisis del parque automotor del país.

#### **Propuesta:**

Implementar una nueva clasificación vial en las Normas NEVI, basada en la capacidad vehicular (TPDA). Esta clasificación permitirá:

- Considerar tanto las tendencias actuales de tráfico como las proyecciones futuras.
- Dimensionar las nuevas vías de manera adecuada, asegurando una verdadera eficiencia y seguridad para todos los usuarios.
- Tomar en cuenta las operaciones y maniobras del tránsito, especialmente en zonas pobladas.
- Establecer el dimensionamiento y equipamiento de seguridad necesarios para cada tipo de vía.

#### **Beneficios:**

- Red vial más segura y eficiente.
- Disminución de accidentes de tránsito.
- Mejor planificación y diseño de nuevas vías.
- Optimización de los recursos destinados a la infraestructura vial.

La Tabla 1 presenta la clasificación funcional propuesta de las carreteras y caminos en función del  $TPDA_D$ , además, muestra los límites inferior y superior (NEVI, 2012).

**Tabla 1** Clasificación vial en función al TPDA al año horizonte

<b>CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS VÍAS EN BASE AL TPDA</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Clasificación Funcional</b>	<b>Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) al año de horizonte</b>	
		<b>Límite Inferior</b>	<b>Límite Superior</b>
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

**Fuente:** NEVI, (2012)

### **Clasificación por jerarquía en la red vial**

La organización de la red vial en base a su jerarquía funcional es crucial para garantizar un sistema de transporte eficiente y seguro. Esta clasificación permite establecer diferentes niveles de servicio y características geométricas para cada tipo de vía, acorde a su función principal y al volumen de tráfico que maneja.

### **Corredores Arteriales: Autopistas del desarrollo**

Los corredores arteriales representan la columna vertebral de la red vial nacional, conectando las capitales provinciales, puertos marítimos, pasos fronterizos y centros económicos estratégicos. Su función principal es facilitar viajes de larga distancia a alta velocidad, con un enfoque en la movilidad, la accesibilidad controlada y la seguridad vial.

### **Características distintivas:**

- **Alta movilidad:** Diseñados para permitir un flujo vehicular fluido y rápido, minimizando las interrupciones y congestiones.

- **Accesibilidad reducida y controlada:** Los accesos a estas vías están cuidadosamente planificados y regulados para optimizar la seguridad y el flujo del tráfico.
- **Giros y maniobras controlados:** La geometría vial limita las maniobras que pueden realizarse, priorizando la seguridad y la eficiencia.
- **Estándares geométricos adecuados:** Cumplen con especificaciones técnicas rigurosas para garantizar una operación segura y eficiente del tráfico.

### **Vías Colectoras: Vínculos entre lo local y lo regional**

Las vías colectoras actúan como arterias secundarias, reuniendo el tráfico proveniente de las zonas rurales y transportándolo hacia los corredores arteriales o centros urbanos importantes. Su función principal es facilitar viajes intermedios y regionales, conectando comunidades y áreas productivas.

#### **Características distintivas:**

- **Servicio de recorridos intermedios o regionales:** Permiten la conexión eficiente entre localidades y regiones dentro del país.
- **Estándares geométricos adecuados:** Diseñadas para manejar el volumen de tráfico esperado, asegurando un flujo vehicular seguro y fluido.

### **Caminos Vecinales: Tejiendo la red rural**

Los caminos vecinales representan la base de la red vial rural, conectando comunidades, zonas agrícolas y sitios turísticos de interés local. Su función principal es facilitar el acceso a servicios básicos, el transporte de productos agrícolas y el turismo rural.

#### **Características distintivas:**

- **Acceso al tráfico doméstico:** Sirven como vías de comunicación para las poblaciones rurales y áreas de producción agrícola.
- **Conectividad con sitios turísticos:** Facilitan el acceso a lugares de interés turístico en zonas rurales.

La clasificación vial por jerarquía es una herramienta fundamental para la planificación, el diseño, la construcción y operación de una red vial eficiente y segura.

Al comprender las funciones y características distintivas de cada tipo de vía, se pueden establecer los estándares adecuados para cada caso, garantizando un sistema de transporte que responda a las necesidades de conectividad, desarrollo y bienestar de la población (NEVI, 2012).

### Clasificación según las condiciones orográficas

Se tipificarán las carreteras según el relieve del terreno natural atravesado indicado en la Tabla 2. En función de la máxima inclinación media de la línea de máxima pendiente, correspondiente a la franja original de dicho terreno interceptada por la explanación de la carretera. (NEVI, 2012).

**Tabla 2** Clasificación vial según las condiciones orográficas

Tipo De Relieve	Máxima Inclinación Media
Llano	$i \leq 5$
Ondulado	$5 < i \leq 5$
Accidentado	$15 < i \leq 25$
Muy accidentado	$25 < i$

**Fuente:** NEVI, (2012)

### Clasificación según el número de calzadas

#### a) Carreteras de calzadas separadas:

- **Definición:** Vías con dos o más calzadas, una para cada sentido de circulación, físicamente separadas entre sí.
- **Características:**
  - Mayor seguridad vial al eliminar la interacción directa entre flujos de tráfico opuestos.
  - Permite mayor capacidad vehicular y fluidez del tránsito.
  - Facilita maniobras como adelantamientos y cruces de manera segura.
  - **Ejemplos:** Autopistas, carreteras principales.

#### b) Carreteras de calzada única:

- **Definición:** Vías con una sola calzada para ambos sentidos de circulación, sin separación física.

- **Características:**
  - Menor costo de construcción y mantenimiento en comparación con las de calzadas separadas.
  - Adecuadas para zonas con menor volumen de tráfico.
  - Implementación de medidas de seguridad vial como señalización horizontal y vertical, control de velocidad y restricción de adelantamientos.
  - **Ejemplos:** Carreteras secundarias, vías locales.

### **Clasificación según la superficie de rodamiento:**

#### **a) Pavimento flexible:**

- **Definición:** Superficie de rodadura compuesta por una mezcla asfáltica, resistente a los agentes externos.
- **Características:**
  - Flexibilidad que permite adaptarse a deformaciones del terreno.
  - Facilidad de reparación y mantenimiento.
  - Superficie impermeable que protege la base de la carretera.
  - **Ejemplos:** La mayoría de las carreteras pavimentadas.

#### **b) Pavimentos rígidos:**

- **Definición:** Superficie de rodadura compuesta por una losa de concreto hidráulico, con o sin refuerzo estructural.
- **Características:**
  - Mayor durabilidad y resistencia a las cargas vehiculares.
  - Menor mantenimiento a largo plazo.
  - Superficie más rígida que el pavimento flexible.
  - **Ejemplos:** Carreteras con alto volumen de tráfico, autopistas, pistas de aterrizaje.

#### **c) Afirmados:**

- **Definición:** Superficie de rodadura compuesta por una capa de material granular compactado.
- **Características:**
  - Solución económica para zonas de bajo tránsito.
  - Requiere mantenimiento periódico para asegurar su transitabilidad.
  - Genera polvo y erosión en condiciones climáticas adversas.

- **Ejemplos:** Caminos rurales, accesos temporales.

**d) Superficie natural:**

- **Definición:** Superficie de rodadura compuesta por el terreno natural, sin tratamiento adicional.
- **Características:**
  - Solución básica para zonas de muy bajo tránsito o acceso temporal.
  - Transitabilidad limitada en condiciones climáticas adversas.
  - Requiere mantenimiento constante para asegurar su uso.
  - **Ejemplos:** Senderos, caminos rurales en zonas remotas.

La clasificación de las carreteras por número de calzadas y tipo de superficie de rodamiento es fundamental para comprender sus características, capacidades y limitaciones. Esta información es esencial para la planificación, diseño, construcción, mantenimiento y operación eficiente de la red vial, garantizando la seguridad, comodidad y fluidez del tránsito para todos los usuarios (NEVI, 2012).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Enfoque de la investigación**

El enfoque metodológico seleccionado para esta investigación es de naturaleza cuantitativa, fundamentado en la necesidad de obtener mediciones precisas y rigurosas que permitan evaluar de manera objetiva el desempeño técnico de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster en comparación con la mezcla asfáltica tradicional.

La elección de un enfoque cuantitativo se sustenta en la intención de medir, cuantificar y analizar de manera sistemática las variables involucradas, utilizando un proceso deductivo que garantice un control preciso sobre los factores relevantes. Esta metodología se presenta como la más adecuada para obtener datos numéricos que faciliten la evaluación del porcentaje óptimo de agregado PVC-blíster y el análisis de las características mecánicas, como el flujo y la estabilidad, con el fin de establecer comparaciones cuantificables entre ambas mezclas asfálticas.

#### **3.2 Alcance de la investigación**

Abarca aspectos descriptivos, correlacionales y exploratorios. En un nivel descriptivo, la investigación se centra en medir conceptos y variables, especialmente al obtener el porcentaje adecuado de agregado PVC-blíster para su aplicación en la composición asfáltica. Este enfoque permitirá caracterizar de manera precisa el fenómeno estudiado y sus componentes, estableciendo así las bases para comprender las características mecánicas de la mezcla.

Con el alcance correlacional se busca examinar el desempeño de los residuos de PVC tipo blíster en la composición asfáltica tradicional, y poder comparar las características mecánicas del mixture asfáltico con desechos de en forma de blíster de PVC y la composición asfáltica tradicional. Esta perspectiva correlacional contribuirá a identificar y comprender las posibles ventajas derivadas de la inclusión de dichos desechos.

Desde una perspectiva exploratoria, se busca inaugurar una aproximación innovadora hacia la temática, preparando el terreno para investigaciones futuras y explorando aspectos poco estudiados en la incorporación de residuos de PVC tipo blíster en mezclas asfálticas.

### **3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos**

La investigación se focalizó en la comparación del comportamiento mecánico de ambas mezclas mediante ensayos de laboratorio. La muestra control será elaborada previamente utilizando la metodología Marshall, que determinará el contenido óptimo de agregados en las briquetas ensayadas.

El porcentaje óptimo de modificante (con residuos de PVC) será determinado basándose en el volumen total de vacíos, asegurando así el mantenimiento o mejora de las características mecánicas de la muestra. La incorporación del blíster se llevará a cabo mediante el método de vía seca, donde el material se mezclará con una fuente de agregado antes de incorporarse al asfalto.

El tipo de asfalto seleccionado es de alto tráfico, cumpliendo con las normativas de deformación mínima de 1 metro, consistencia mínima de 60 mm, susceptibilidad térmica de 48 a 57 grados, y cumpliendo con la normativa de Marshall de 75 golpes por cara de cada briquea.

Se implementará una hoja para la obtención de datos, donde se registrará información detallada acerca del tipo de material utilizado, la cantidad precisa de agregado PVC-blíster, así como las propiedades volumétricas de la mezcla. También se registrarán variables temporales, como el tiempo requerido en el proceso, y factores ambientales, incluyendo la temperatura durante la preparación.

### **3.4 Encuesta**

La encuesta permite determinar cómo se comparan en términos de desempeño las dos opciones de mezcla asfáltica, es decir, la tradicional y la modificada con residuos de PVC. Esto ayuda a entender si la mezcla modificada ofrece ventajas significativas

en términos de durabilidad, resistencia, adherencia, entre otros aspectos técnicos (Anexo 1).

En este caso, los encuestados serán ingenieros civiles especializados en carreteras. Los resultados de las encuestas pueden proporcionar información útil para respaldar la toma de decisiones relacionadas con políticas públicas, especificaciones de construcción de carreteras y la selección de materiales para proyectos viales.

### **3.5 Procedimiento**

#### **1. Caracterización del Modificante (Blíster):**

- Realizar un ensayo en el laboratorio para caracterizar el modificante (blíster).
- Seleccionar el porcentaje según los valores especificados en la metodología para la fabricación de la mezcla modificada.

#### **2. Diseño y Evaluación de Especímenes:**

- Utilizar el porcentaje definido en el paso anterior para diseñar la mezcla modificada.
- Preparar especímenes de ensayo con la mezcla diseñada.
- Evaluar el desempeño de los especímenes mediante pruebas de fatiga a cuatro puntos.

#### **3. Mezcla en Mezcladora con Agitación Mecánica:**

- Realizar la mezcla en una mezcladora con agitación mecánica.
- Ajustar la temperatura óptima para evitar la adhesión de la mezcla al equipo y reducir el desperdicio de material.

#### **4. Control de Temperatura del Asfalto y Agregados:**

- Controlar la temperatura del asfalto y los agregados durante el proceso de mezclado.
- Mantener los rangos de temperatura recomendados.
- Considerar la diferencia de temperatura entre el asfalto y los agregados, considerando el cambio de temperatura que sucede por sacar del horno y la elaboración del lote de mezcla.

#### **5. Identificación del Comportamiento Óptimo:**

- De acuerdo con los resultados se identificará el óptimo.

- Evaluar la sensibilidad de la mezcla modificada en una estructura de pavimento.

#### **6. Recomendaciones para Uso en Capas del Pavimento:**

- Determinar en qué nivel de manto asfáltico será conveniente empelar la mezcla modificada.
- Proveer recomendaciones basadas en el desempeño identificado, contribuyendo a una aplicación efectiva y beneficiosa en la construcción de pavimentos

### **3.6 Población y muestra**

La población y la muestra de la investigación se componen de tres diseños de mezcla, cada uno elaborado con diferentes porcentajes de residuos de PVC tipo blíster. El tipo de muestreo empleado es no probabilístico y a juicio del investigador. Esta elección se fundamenta en la necesidad de abordar de manera específica y práctica los objetivos del estudio, que incluyen la creación de una mezcla asfáltica innovadora a partir de los residuos de PVC tipo blíster y su comparación con la mezcla asfáltica tradicional.

El muestreo es no probabilístico y por conveniencia, el cual permite seleccionar intencionalmente los diseños de mezcla que representan de manera significativa las variaciones en los porcentajes de residuos de PVC tipo blíster, garantizando así una aproximación práctica y eficiente para alcanzar los objetivos específicos de la investigación.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mediante este capítulo se presentan los resultados de acuerdo con cada objetivo propuesto en la investigación, con enfoque en la metodología utilizada, en las fases en las que fue realizado el estudio del agregado de PCV tipo blíster a la mezcla tradicional de asfalto.

#### 4.1 Diseño de la mezcla de asfalto mediante con el Método Marshall

En esta etapa de diseño se realizó un ensayo en el laboratorio para caracterizar el modificante (blíster), seleccionando el porcentaje adecuado que cumpla con las especificaciones de la metodología para el diseño de la mezcla modificada, estos porcentajes fueron de: 2%, 4% y 6%.

#### 4.2 Ensayos de la mezcla asfáltica

##### 4.2.1. Fase de Penetración

Se seleccionó un asfalto de alto tráfico que cumplió con la normativa de consistencia mínima de 60 mm. Considerando los parámetros de la norma ASTM D5/D5M-13 se ensayaron 10 muestras, las cuales mostraron un promedio de 69,2 con una desviación estándar de 6,3 mm, el valor mínimo alcanzado fue de 58 y máximo de penetración de 78 mm.

**Tabla 3** Medidas descriptivas del comportamiento de penetración de las muestras

Estadístico	Penetración (mm)
Media	69,2
Desviación estándar	6,3
Mínimo	58
Máximo	78
n	10

Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 16** Proceso de la fase de penetración



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

#### **4.2.2 Fase de punto de reblandamiento**

En este caso el asfalto seleccionado fue de alto tráfico para que cumpliera con la norma de susceptibilidad térmica entre 48 a 57 grados. Se utilizaron dos esferas, con un punto de ablandamiento de 54,1 °C. En este caso la esfera 1 tenía un peso de 7,6 gramos y el tiempo de descenso fue de 21 segundos. Por otra lado, la esfera 2, con un peso inferior de 5,2 gramos mostró mayor tiempo de descenso con 37 segundos.

**Tabla 4** Medidas de punto de reblandamiento

	Esfera 1	Esfera 2
Peso (g)	7,6	5,2
Tiempo de descenso (seg)	21	37
Temperatura (°C)	54,1	54,1

Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 17** Proceso de la fase de punto de reblandamiento



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

### 4.2.3 Cálculo del índice de penetración

Se emplearon las fórmulas del MTOP, este utiliza la temperatura del punto de ablandamiento y el promedio de las lecturas de los ensayos de penetración obtenidos previamente. El valor obtenido del índice de penetración fue de 0,64, dicho valor se encuentra dentro del rango establecido por la norma ASTM-946 de (-1,5 – 1,5). Dicho valor es considerado aceptable para la región costa donde la temperatura no presenta cambios drástico de temperatura.

$$A = 50 * \left( \frac{\text{Log}(800) - \text{Log}(69,2)}{54,1 - 25} \right) = 1,82$$

$$IP = \frac{20 - (10 * 1,82)}{1,82 + 1} = 0,64$$

### 4.2.2. Fase de ductilidad

Se seleccionó un asfalto de alto tráfico para que pueda cumplir con la normativa de deformación min.1 mt. Se realizó un ensayo utilizando tres moldes y se observó el rango de estiramiento, el cual fue de 139 cm para los tres moldes. Este valor cumple con las especificaciones establecidas por la norma NTE INEN 916, de un valor mínimo de estiramiento de 50 cm, para un asfalto AC-20. La tabla a continuación muestra los resultados.

**Tabla 5** Medidas de estiramiento

Molde	Estiramiento (cm)
1	139
2	139
3	139

Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 18** Fase de ductilidad



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

### **4.2.3. Diseño Marshal de la mezcla asfáltica convencional**

Este diseño fue elaborado bajo la norma ASTM D1559, con el objetivo de evaluar vacíos, prueba de estabilidad y el flujo de las briquetas compactadas previamente. Esta mezclas asfálticas en caliente contienen agregados con un tamaño menor o igual a 25 mm, se emplearon briquetas con altura de 6,4 cm y diámetro estándar de 10,2 cm. A continuación, se describe el procedimiento para la elaboración de briquetas de mezcla asfáltica convencional:

Se elaboraron tres diseños de mezcla asfáltica convencional. Para cada diseño, se prepararon dos briquetas con los siguientes porcentajes de asfalto: 2%, 4% y 6%, resultando en un total de seis briquetas.

1. Las briquetas tienen un diámetro interno de 10.2 cm y una altura aproximada de 6.2 cm, con un peso total de 1100 gramos cada una.
2. **Preparación de Materiales**  
Los agregados se calentaron a una temperatura de 150 °C.  
El cemento asfáltico se calentó a una temperatura de 160 °C.
3. **Preparación de Moldes:** Se aplicó aceite en los moldes Marshall para evitar que la mezcla se adhiera a los mismos.
4. **Compactación de la Mezcla:** La mezcla asfáltica se colocó en los moldes y se compactó con 50 golpes por cara, según los estándares para tráfico medio.
5. **Enfriamiento:** Las briquetas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante un día completo.
6. **Ensayos Marshall:** Una vez enfriadas, las briquetas estuvieron listas para ser sometidas a los ensayos Marshall.

### **4.2.4. Ensayos Marshall**

#### **Procedimiento para el Ensayo de Estabilidad y Flujo**

1. **Preparación de las Briquetas**  
Las briquetas previamente compactadas se colocaron en un baño maría durante 30 minutos.
2. **Secado de las Briquetas**  
Tras el baño maría, las briquetas se retiraron y secaron

### 3. Inserción en el Equipo de Ensayo

Las briquetas secas fueron insertadas en el equipo de ensayo, ajustando los anillos centrales.

### 4. Aplicación de la Carga

Se aplicó una carga a una velocidad de 2 pulgadas por minuto hasta que la muestra falló.

### 5. Medición del Flujo

Durante la aplicación de la carga, se colocó el dial medidor del flujo sobre la barra guía. Una vez que ocurrida la falla de deformación en la muestra, se retiró el dial medidor.

6. **Obtención de Valores:** El valor obtenido en el dial medidor del flujo se denomina flujo y está expresado en centésimas de pulgada. El valor obtenido mediante la lectura del dial de carga en el instante de deformación por la carga se denomina estabilidad Marshall.

#### 4.2.5. Ensayo de la gravedad específica máxima teórica (Gmm)

Los valores obtenidos para determinar la gravedad máxima teórica fueron:

Peso engrosador (gr) = 8,7

Peso frasco (gr) = 79

Peso asfalto más frasco (gr) = 121

Peso específico del asfalto =  $39 / (39 - (162,5 - 161,8)) = 1,018$ .

**Figura 19** Ensayo Marshall

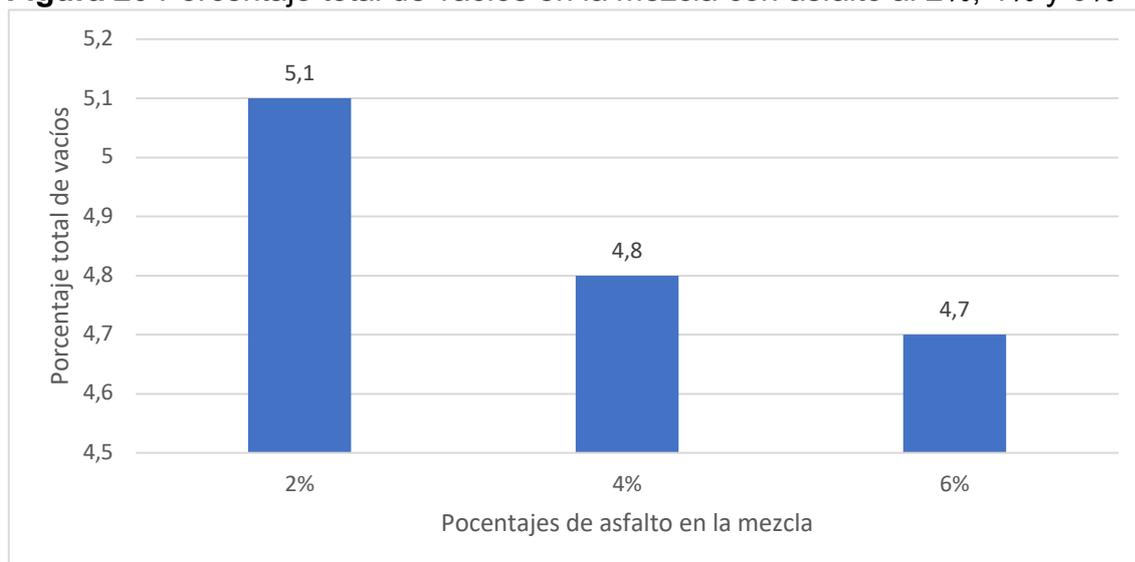


Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

A continuación, en la Tabla 6 se muestran las propiedades volumétricas de las mezclas con 2 %, 4 % y 6 % de asfalto. En este caso las especificaciones para cada propiedad fueron VTM entre 3 a 5%; VMA entre 0 a 14,5%; VFA entre 65 a 78%, para la estabilidad entre mínimo a 1200 y el flujo entre 8 a 16.

Las propiedades volumétricas de las mezclas de asfalto con diferentes porcentajes de asfalto presentan variaciones significativas que influyen en su desempeño. Al analizar los valores de VTM (Vacíos Totales en la Mezcla), se observa una disminución progresiva a medida que aumenta el contenido de asfalto, pasando de 5,1% con 2% de asfalto a 4,7% con 6%. Esto indica una mejor compactación y menor cantidad de vacíos en la mezcla con mayor contenido de asfalto (Tabla 6 y Figura 20).

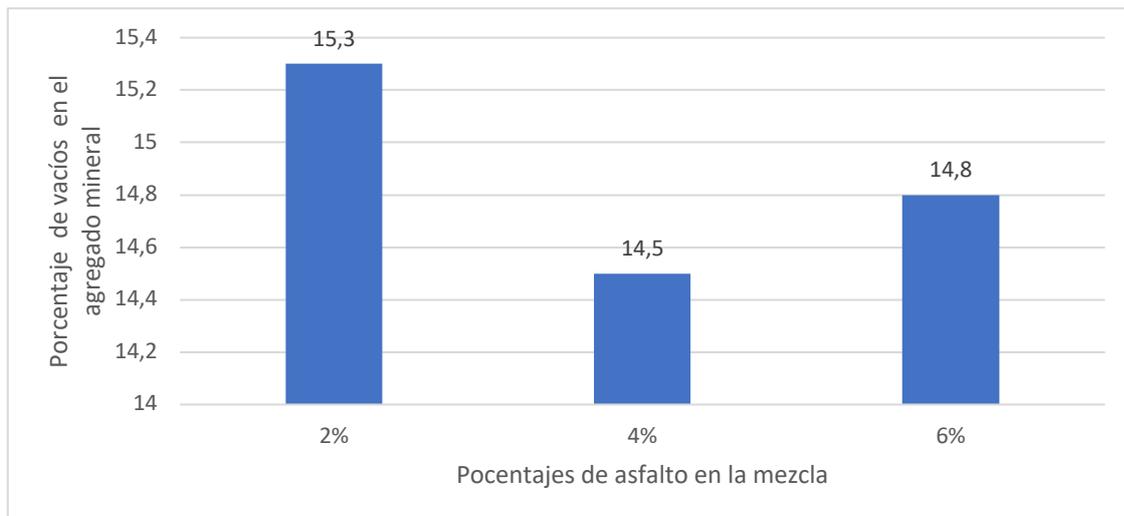
**Figura 20** Porcentaje total de vacíos en la mezcla con asfalto al 2%, 4% y 6%



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

El VMA (Vacíos en el Agregado Mineral) también muestra una tendencia similar, disminuyendo inicialmente de 15,3% a 14,5% al incrementar el asfalto de 2% a 4%, y luego aumentando ligeramente a 14,8% con 6% de asfalto. Este comportamiento sugiere que la mezcla con 4% de asfalto logra la mejor utilización del espacio en el agregado mineral, aunque la diferencia con la mezcla de 6% es mínima (Tabla 6 y Figura 21).

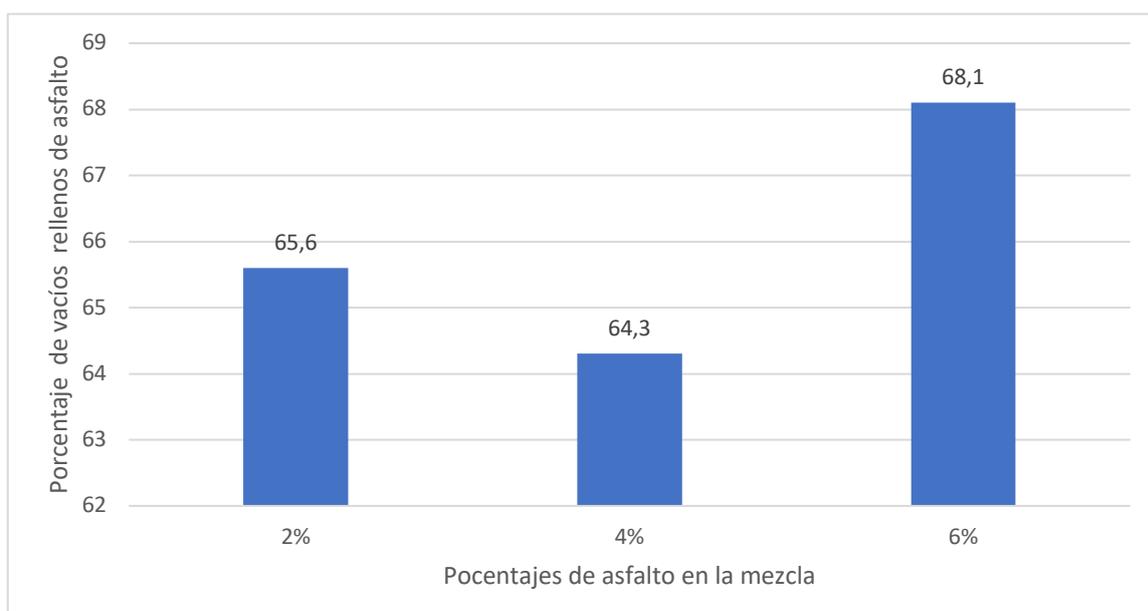
**Figura 21** Porcentaje de vacíos en agregado mineral de la mezcla con asfalto al 2%, 4% y 6%



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

En cuanto al VFA (Vacíos Llenos con Asfalto), se observa un incremento del 65,6% con 2% de asfalto al 68,1% con 6%. Esto indica que una mayor cantidad de vacíos en el agregado mineral están llenos de asfalto en la mezcla con mayor contenido, lo cual contribuye a una mejor adhesión y cohesión de la mezcla (Tabla 6 y Figura 22).

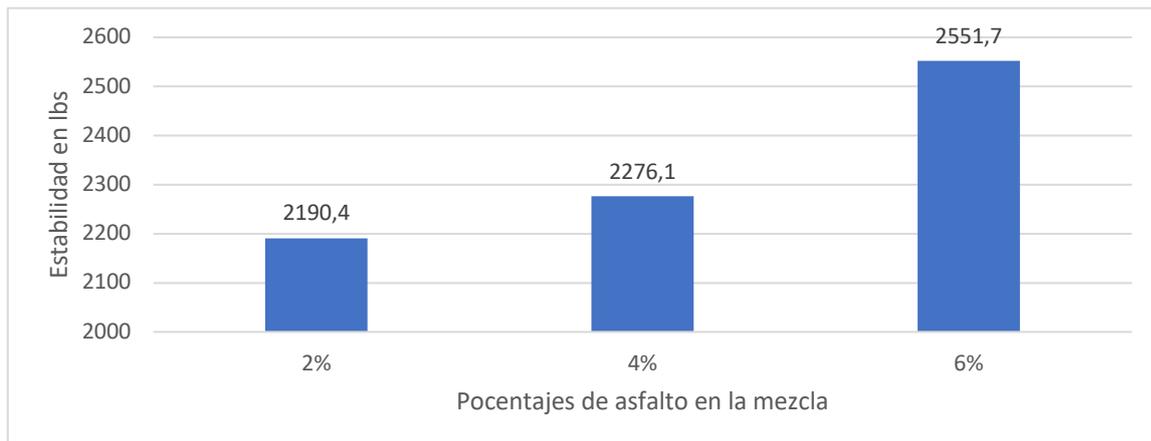
**Figura 22** Porcentaje de vacíos llenos de asfalto al 2%, 4% y 6%



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

La estabilidad de las mezclas, medida en libras, aumenta significativamente con el incremento del contenido de asfalto. La mezcla con 2% de asfalto tiene una estabilidad de 2190,4 lbs, que aumenta a 2276,1 lbs con 4% y a 2551,7 lbs con 6%. Esto sugiere que la mezcla con 6% de asfalto tiene la mayor capacidad para resistir cargas antes de fallar, siendo la más resistente de las tres (Tabla 6 y Figura 23).

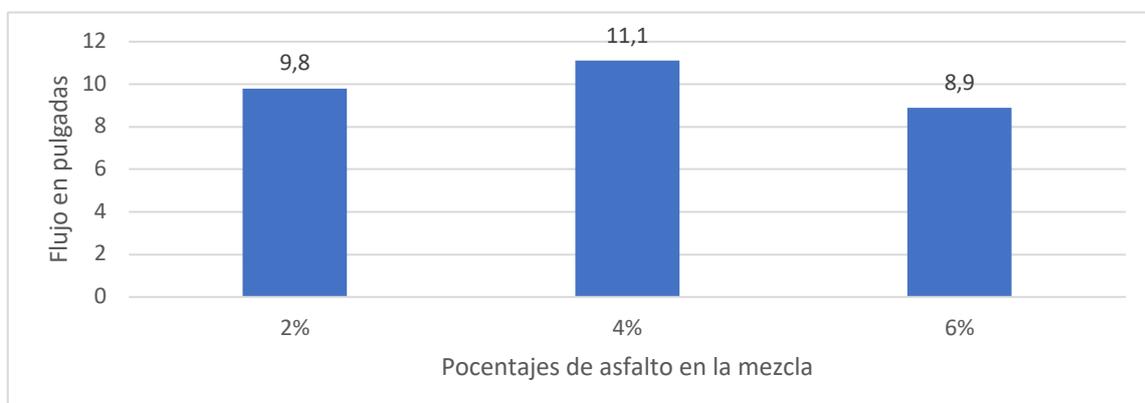
**Figura 23** Estabilidad de la mezcla con asfalto al 2%, 4% y 6%



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

El flujo, medido en centésimas de pulgada, varía de 9,8 con 2% de asfalto a 11,1 con 4%, y disminuye a 8,9 con 6%. Un menor flujo indica que la mezcla es menos propensa a deformaciones bajo carga, lo cual es favorable para la durabilidad de la pavimentación (Tabla 6 y Figura 24).

**Figura 24** Flujo de la mezcla con asfalto al 2%, 4% y 6%



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

La mezcla con 6% de asfalto se destaca como la mejor opción, ya que combina la mayor estabilidad, el menor flujo y un adecuado balance entre VTM, VMA y VFA. Estas características indican una mezcla bien compactada, con buena cohesión y resistencia, lo cual es ideal para aplicaciones que requieren alta durabilidad y capacidad de carga.

**Tabla 6** Propiedad volumétricas de las mezclas de asfalto

Propiedad	Porcentaje asfalto		
	2%	4%	6%
VTM (%)	5,1	4,8	4,7
VMA (%)	15,3	14,5	14,8
VFA (%)	65,6	64,3	68,1
Estabilidad (lbs)	2190,4	2276,1	2551,7
Flujo (pulg/100)	9,8	11,1	8,9

Nota: VTM (%): Porcentaje total de vacíos de la mezcla; VMA (%): Porcentaje de vacíos en el agregado mineral; VFA (%): Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto. Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

### 4.3 Diseño de la mezcla de asfalto modificada con PVC tipo blíster

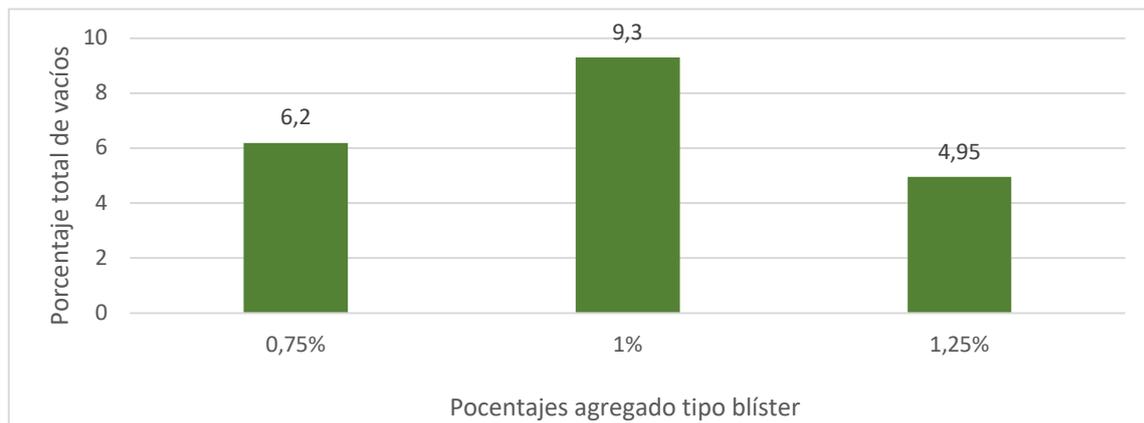
Para la elaboración de las briquetas de asfalto modificado, los cilindros utilizados tenían un diámetro interno de 10.2 cm y una altura que varió entre 6 cm y 6.6 cm. Cada briqueta tenía un peso total de 1100 gramos. Los agregados fueron calentados a una temperatura de 150 °C, mientras que el cemento asfáltico se calentó a 160 °C. Los moldes Marshall fueron recubiertos con aceite para evitar la adherencia del asfalto.

La mezcla se colocó en los moldes y se compactó con 50 golpes por cara. Posteriormente, las briquetas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante un día antes de proceder con los ensayos Marshall. Para este procedimiento, se consideró una mezcla de asfalto al 6%, elaborando un total de seis briquetas con diferentes proporciones de agregado de PVC tipo blíster (0,75%, 1,0% y 1,25%).

En la Tabla 7 y Figura 25 se muestran de las propiedades volumétricas de las mezclas de asfalto al 6% modificadas con agregado de PVC tipo blíster, se analizaron tres porcentajes diferentes de agregado (0,75%, 1,0% y 1,25%). Al observar el contenido de vacíos totales en la mezcla (VTM), se encontró que la mezcla con 1,25%

de PVC tuvo el valor más bajo (4,95%), lo que indica una mejor compactación y menor cantidad de vacíos. En contraste, la mezcla con 1,0% de PVC mostró el valor más alto de VTM (9,3%), lo que sugiere una mayor cantidad de vacíos en la mezcla.

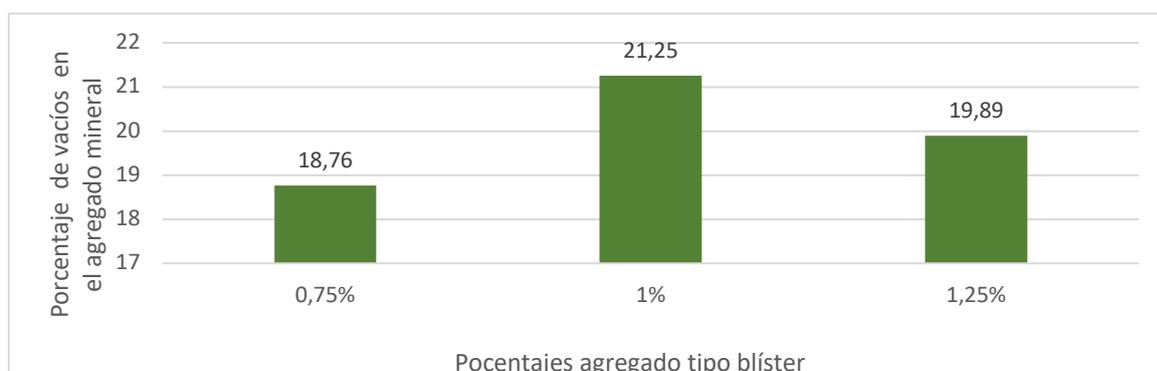
**Figura 25** Porcentaje total de vacíos en la mezcla con 6% de asfalto y agregado tipo blíster



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) fueron más altos en la mezcla con 1,0% de PVC (21,25%), indicando una mayor cantidad de espacio vacío dentro de la estructura de la mezcla. Sin embargo, la mezcla con 1,25% de PVC presentó un VMA ligeramente inferior (19,89%), lo que puede ser más deseable para una mejor compactación. La mezcla con 0,75% de PVC tuvo el valor más bajo de VMA (18,76%), lo que sugiere una menor cantidad de vacíos (Tabla 7 y Figura 26).

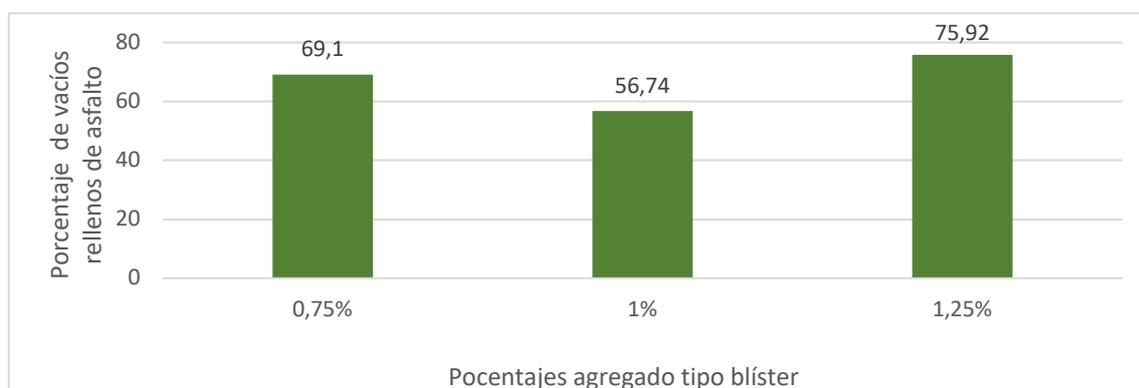
**Figura 26** Porcentaje de vacíos en agregado mineral de la mezcla con 6% de asfalto y agregados tipo blíster



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

El porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) fue más alto en la mezcla con 1,25% de PVC (75,92%), lo que indica que una mayor proporción de los vacíos del agregado mineral están llenos de asfalto, favoreciendo la adhesión y cohesión de la mezcla. Por otro lado, la mezcla con 1,0% de PVC tuvo el valor más bajo de VFA (56,74%), lo que sugiere una menor cantidad de vacíos llenos con asfalto (Tabla 7 y Figura 27).

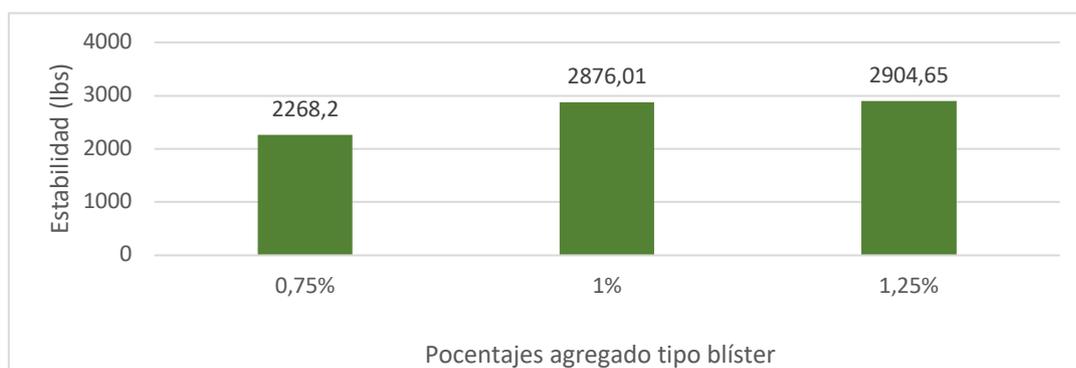
**Figura 27** Porcentaje de vacíos llenos de mezcla con 6% de asfalto y agregados tipo blíster



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

En términos de estabilidad, la Tabla 7 y Figura 28 muestran que, la mezcla con 1,25% de PVC mostró el valor más alto (2904,65 lbs) lo que indica una mayor resistencia a las cargas antes de fallar. La mezcla con 0,75% de PVC tuvo la estabilidad más baja (2268,2 lbs), mientras que la mezcla con 1,0% de PVC presentó una estabilidad intermedia (2876,01 lbs).

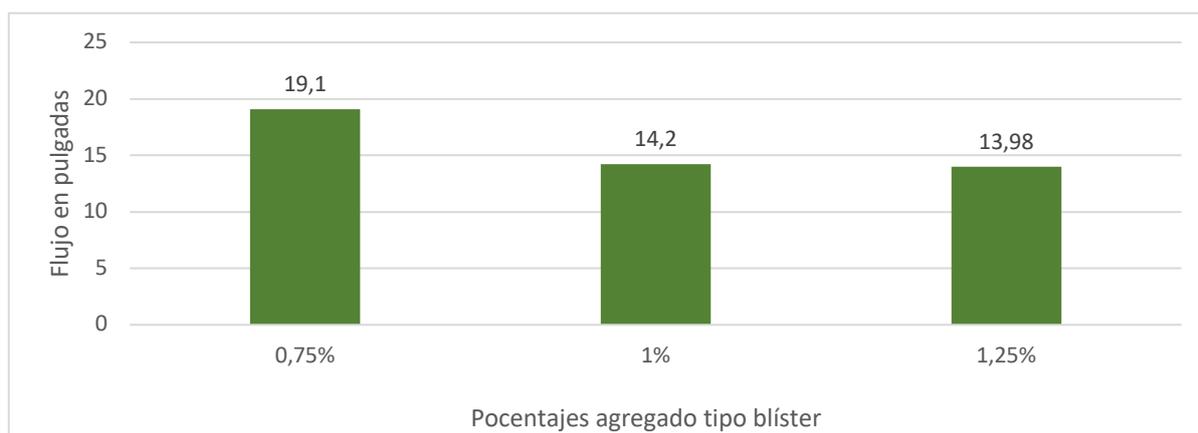
**Figura 28** Estabilidad (lbs) de la mezcla con 6% de asfalto y agregados tipo blíster



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

Finalmente, el flujo, medido en centésimas de pulgada, fue mayor en la mezcla con 0,75% de PVC (19,1 pulgadas/100), lo cual sugiere una mayor deformabilidad bajo carga. Las mezclas con 1,0% y 1,25% de PVC presentaron flujos más bajos (14,20 y 13,98 pulgadas/100, respectivamente), lo cual es más favorable, ya que indica una menor propensión a la deformación (Tabla 7 y Figura 29).

**Figura 29** Flujo de la mezcla de 6% asfalto con agregados tipo blíster



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

En definitiva, la mejor mezcla es la que contiene 1,25% de PVC tipo blíster. Esta mezcla presenta un buen balance entre bajo VTM y alto VFA, lo que sugiere una adecuada compactación y cohesión. Tiene la mayor estabilidad, y combinado con un flujo bajo, la convierte en la opción más adecuada para resistir deformaciones y mantener la integridad estructural bajo carga.

**Tabla 7** Propiedad volumébricas de las mezclas de asfalto al 6%, modificadas con el agregado de PVC tipo blíster

Propiedad	Porcentaje agregado de PVC tipo blíster		
	0,75%	1,0%	1,25%
VTM (%)	6,2	9,3	4,95
VMA (%)	18,76	21,25	19,89
VFA (%)	69,10	56,74	75,92
Estabilidad (lbs)	2268,2	2876,01	2904,65
Flujo (pulg/100)	19,1	14,20	13,98

Nota: VTM (%): Porcentaje total de vacíos de la mezcla; VMA (%): Porcentaje de vacíos en el agregado mineral; VFA (%): Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto.  
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

#### 4.7 Análisis de costos para la mezcla de asfalto de 6% sin agregado blíster para 1m<sup>3</sup>

Mediante la Tabla 8 se presentan los resultados de costos para equipos, materiales y mano de obra de la mezcla con el 6% de asfalto. Estos costos fueron calculados considerando 1 metro cúbico, donde se emplearon 0,7284 m<sup>3</sup> de grava triturada (3/4), 0,2103 m<sup>3</sup> de arena y con 0,0613 m<sup>3</sup> de asfalto.

**Tabla 8** Costo para la mezcla de asfalto de 6% sin agregado blíster para 1m<sup>3</sup>

	Cantidad	Precio	Costo hora	Rendimiento	Costo total
<b>Equipos</b>					
Planta asfáltica	1	155,25	155,25	0,05	7,763
Cargadora	1	58	58	0,05	2,9
				Sub-total	10,6625
<b>Mano de obra</b>					
Operario planta	1	4,5	4,5	0,05	0,225
Operario cargadora	1	4,8	4,8	0,05	0,240
Técnico laboratorio	2	3,8	7,6	0,05	0,380
				Sub-total	0,845
<b>Mano de obra</b>					
Grava triturada (3/4) m3	0,7284	15	N/A	N/A	10,926
Arena (m3)	0,2103	12	N/A	N/A	2,5236
Asfalto AC-20 (Kg)	92,73	0,78	N/A	N/A	72,3294
Combustible (gasolina gl)	15	1,9	N/A	N/A	28,5
				Sub-total	114,279

Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

Mediante la Tabla 9 se presentan los resultados de costos para equipos, materiales y mano de obra de la mezcla con el 6% de asfalto y el 1,25% de agregado de PVC tipo blíster. Estos costos fueron calculados considerando 1 metro cúbico, donde se emplearon 0,6150 m<sup>3</sup> de grava triturada (3/4); 0,2801m<sup>3</sup> de arena, con 0,0816 m<sup>3</sup> de asfalto y con 0,0233 de blíster.

**Tabla 9** Costo para la mezcla de asfalto de 6% con agregado blíster al 1,25% para 1m<sup>3</sup>

	Cantidad	Precio	Costo hora	Rendimiento	Costo total
<b>Equipos</b>					
Planta asfáltica	1	155,25	155,25	0,05	7,763
Cargadora	1	58	58	0,05	2,9
				Sub-total	10,6625
<b>Mano de obra</b>					
Operario planta	1	4,5	4,5	0,05	0,225
Operario cargadora	1	4,8	4,8	0,05	0,240
Técnico laboratorio	2	3,8	7,6	0,05	0,380
				Sub-total	0,845
<b>Mano de obra</b>					
Grava triturada (3/4) m3	0,615	15	N/A	N/A	9,225
Arena (m3)	0,2801	12	N/A	N/A	3,3612
Agregado blíster 1,25%	0,0233	0,05	N/A	N/A	0,0012
Asfalto AC-20 (Kg)	77,4	0,78	N/A	N/A	60,372
Combustible (gasolina gl)	15	1,9	N/A	N/A	28,5
				Sub-total	101,459

Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

#### 4.4 Comparación entre ambas mezclas con el 6% de asfalto y con agregado tipo blíster al 1,25%

La Tabla 10 muestra los valores que permitieron comparar ambas mezclas asfálticas, además, se calculó la densidad de Bulk, que de acuerdo con la norma ASTM C29/C29M-97, permitió medir la densidad de los aditivos relacionados con los vacíos.

En el análisis comparativo de las mezclas de asfalto al 6%, con y sin agregado de blíster al 1,25%, se observan diferencias notables en varios parámetros clave. La densidad aparente, o bulk, de la mezcla sin modificar es de 2,17 g/cm<sup>3</sup>, mientras que la mezcla con blíster presenta un valor ligeramente inferior de 2,09 g/cm<sup>3</sup>. Esta reducción en la densidad podría indicar una mayor porosidad o presencia de espacios vacíos en la mezcla modificada, lo que podría afectar la compactación y el rendimiento del pavimento.

La estabilidad, que mide la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones bajo carga, es superior en la mezcla con blíster, alcanzando los 2904,65 kg frente a los 2551,7 kg de la mezcla sin modificar. Este aumento en la estabilidad es un indicador positivo, ya que sugiere que la mezcla modificada tiene una mejor resistencia estructural y puede soportar cargas más pesadas sin sufrir deformaciones significativas. Sin embargo, el flujo, que refleja la deformabilidad de la mezcla, es mayor en la mezcla con blíster, registrando 13,98 mm en comparación con los 8,9 mm de la mezcla sin modificar. Aunque un mayor flujo puede facilitar la compactación inicial, también puede ser un indicativo de una tendencia a la deformación plástica bajo carga continua, lo cual es un aspecto para considerar.

El contenido de vacíos en el agregado mineral (VMA) es otro aspecto crucial, ya que afecta la durabilidad y la resistencia a la fatiga del pavimento. La mezcla con blíster muestra un VMA más alto del 19,89% en comparación con el 14,8% de la mezcla sin modificar. Este aumento en el VMA podría permitir una mejor adhesión del asfalto al agregado y una mayor compactación, aunque valores demasiado altos podrían comprometer la resistencia estructural de la mezcla.

En cuanto al costo por metro cúbico es notablemente más bajo en la mezcla con blíster, con un costo de 101,46 en comparación con los 114,28 de la mezcla sin modificar. Esta reducción en el costo es un factor significativo, especialmente en proyectos de gran escala donde el ahorro económico puede ser considerable.

Considerando todos estos factores se concluye que, la mezcla de asfalto con un 1,25% de blíster se presenta como la mejor opción debido a su mayor estabilidad, lo que mejora la resistencia a la deformación y al desgaste. Aunque el flujo y el VMA son mayores, lo cual requiere un monitoreo cuidadoso para evitar problemas de deformación excesiva, la reducción en el costo total la convierte en una opción económicamente viable y técnicamente superior en términos de durabilidad y rendimiento.

**Tabla 10** Comparación de mezcla de asfalto de 6% con agregado y sin agregado blíster al 1,25% para 1m<sup>3</sup>

Parámetros	Mezcla 6 % de asfalto	
	Sin modificar	Con 1,25% blíster
Bulk	2,17	2,09
Estabilidad	2551,7	2904,65
Flujo	8,9	13,98
VMA	14,8	19,89
Costo por 1 m3	114,28	101,46

Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

#### 4.5 Análisis de la encuesta

A continuación, se presentan los resultados de la encuesta realizadas para conocer sobre el uso de mezclas asfálticas y su comparación con las mezclas modificadas con agregados de PVC tipo blíster.

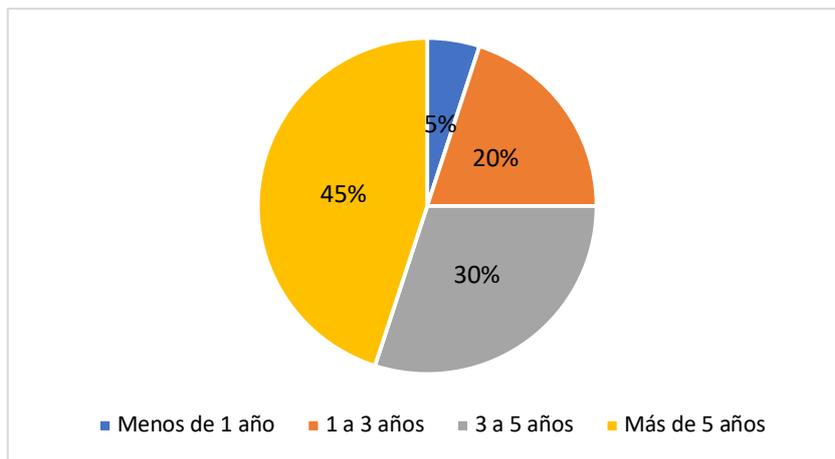
Los resultados mostraron que la mayoría (75%) ha tenido experiencia campo de la construcción de carreteras y pavimentos asfálticos, asimismo, todos han trabajado con mezclas asfálticas tradicionales. Un 75% ha trabajado anteriormente con mezclas asfálticas modificadas con residuos de PVC tipo blíster, en términos de durabilidad, el 45% califica la mezcla asfáltica tradicional en comparación con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster como similar.

El 45% considera igual de resistente la mezcla asfáltica tradicional en comparación con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster. Un 65% manifestó no haber notado alguna diferencia en la capacidad de absorción de agua entre la mezcla asfáltica tradicional y la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster. En términos de resistencia a la deformación bajo cargas pesadas, el 45% considera que la mezcla asfáltica tradicional es mejor y el 40% manifestó que son similares.

El 60% no ha observado diferencias en la capacidad de recuperación elástica entre ambas mezclas. Sobre la facilidad de aplicación y manipulación de la mezcla asfáltica modificada con residuos del PVC tipo blíster en comparación con la tradicional, el 70% opinó que es igual de fácil de aplicar. Y el 65% recomendaría la

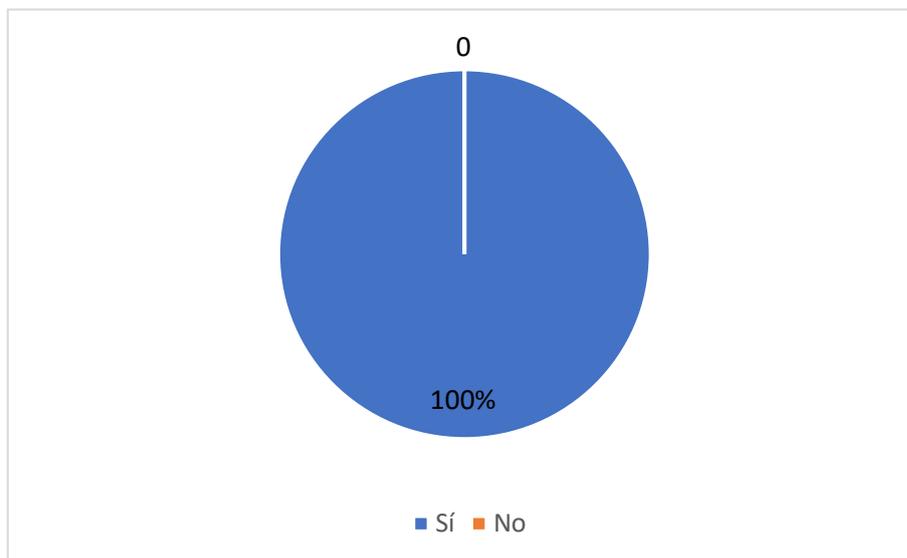
adopción de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster en lugar de la tradicional basándose en su experiencia técnica, pero dependiendo de la condiciones específicas del proyecto.

**Figura 30** ¿Cuál es su experiencia en el campo de la construcción de carreteras y pavimentos asfálticos?



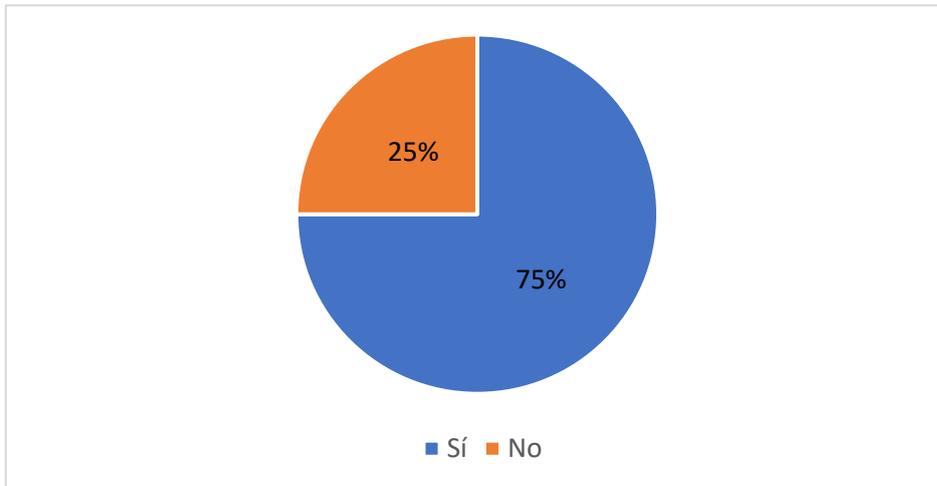
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 31** ¿Ha trabajado anteriormente con mezclas asfálticas tradicionales?



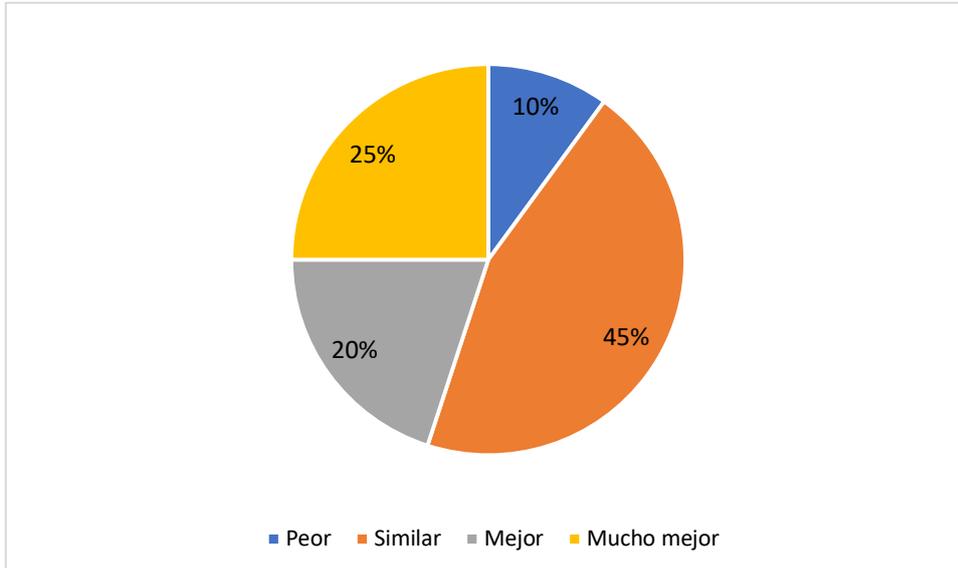
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 32** ¿Ha trabajado anteriormente con mezclas asfálticas modificadas con residuos de PVC tipo blíster?



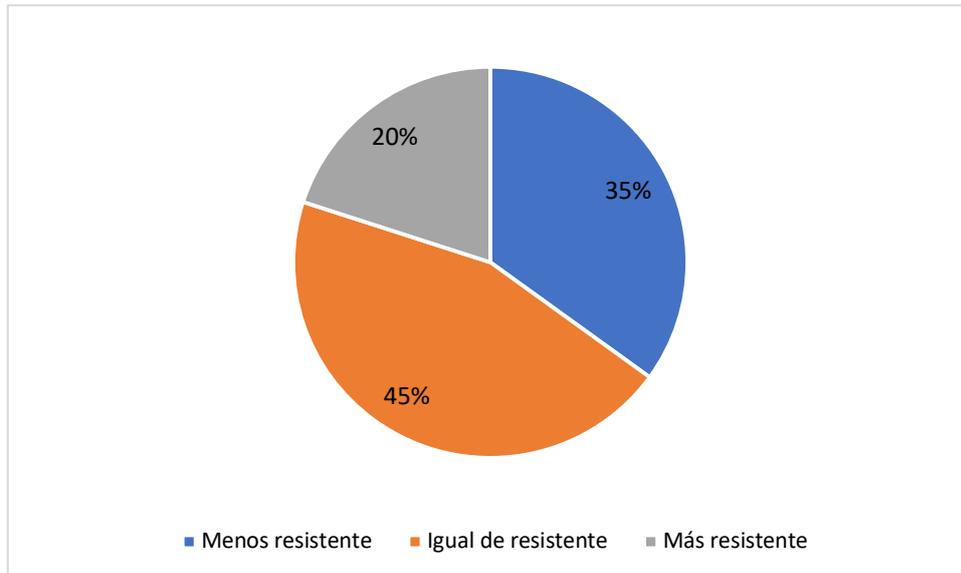
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 33** En términos de durabilidad, ¿cómo calificaría la mezcla asfáltica tradicional en comparación con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?



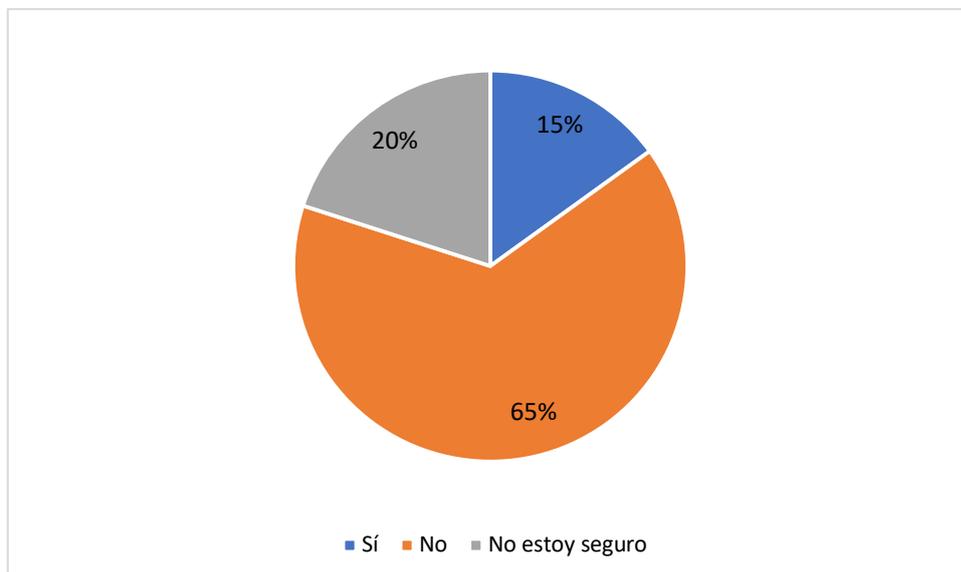
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 34** ¿Qué tan resistente considera que es la mezcla asfáltica tradicional en comparación con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?



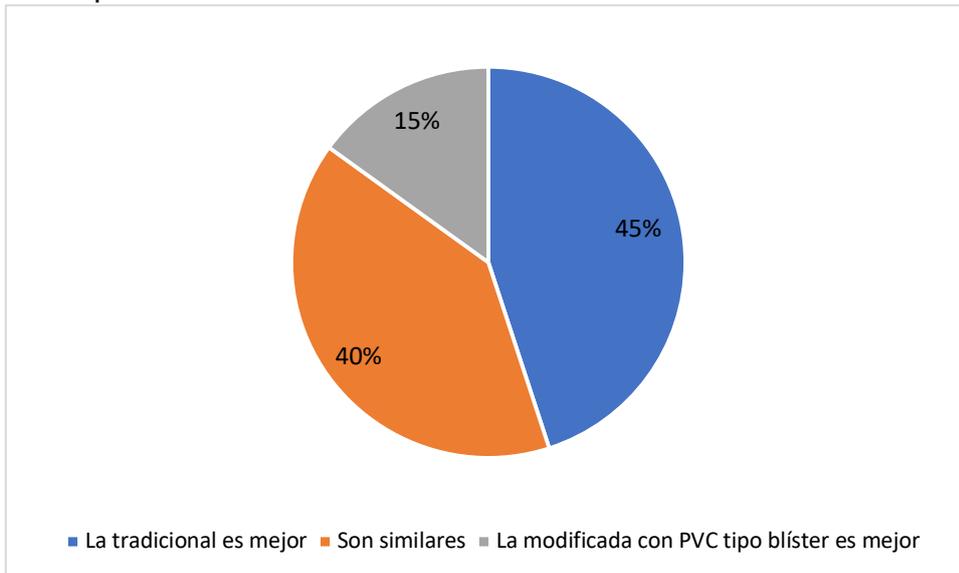
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 35** ¿Ha notado alguna diferencia en la capacidad de absorción de agua entre la mezcla asfáltica tradicional y la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?



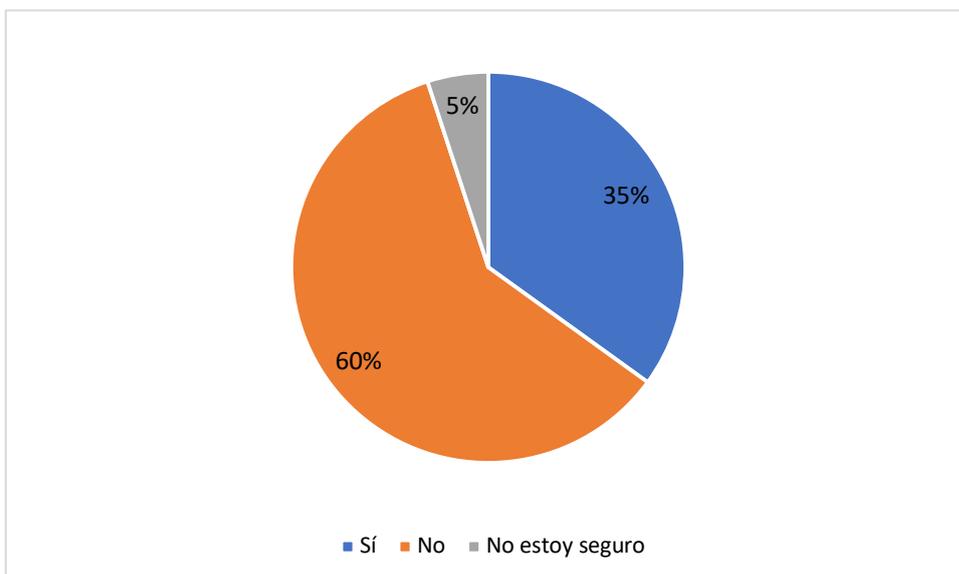
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 36** En términos de resistencia a la deformación bajo cargas pesadas, ¿cómo compararía la mezcla asfáltica tradicional con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?



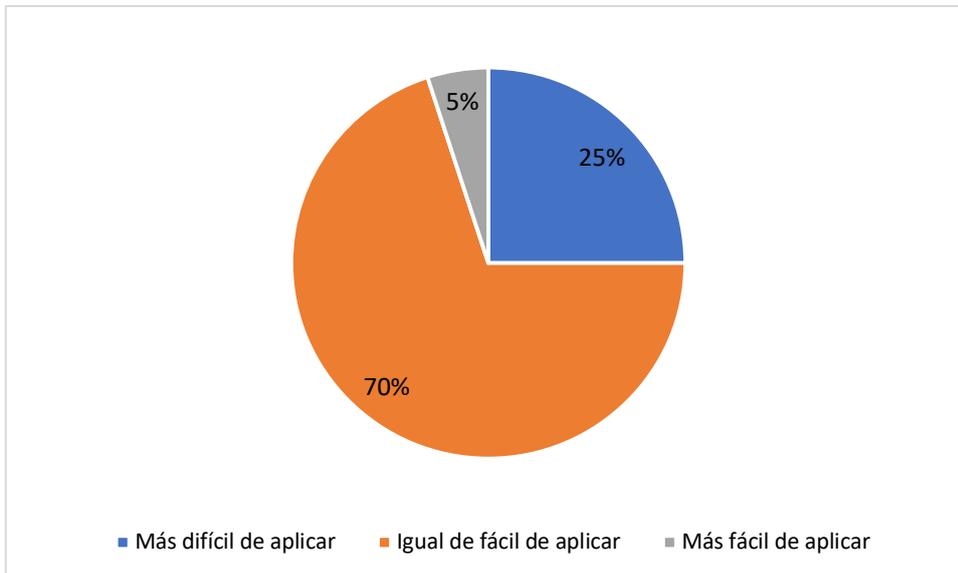
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 37** ¿Ha observado alguna diferencias en la capacidad de recuperación elástica entre ambas mezclas?



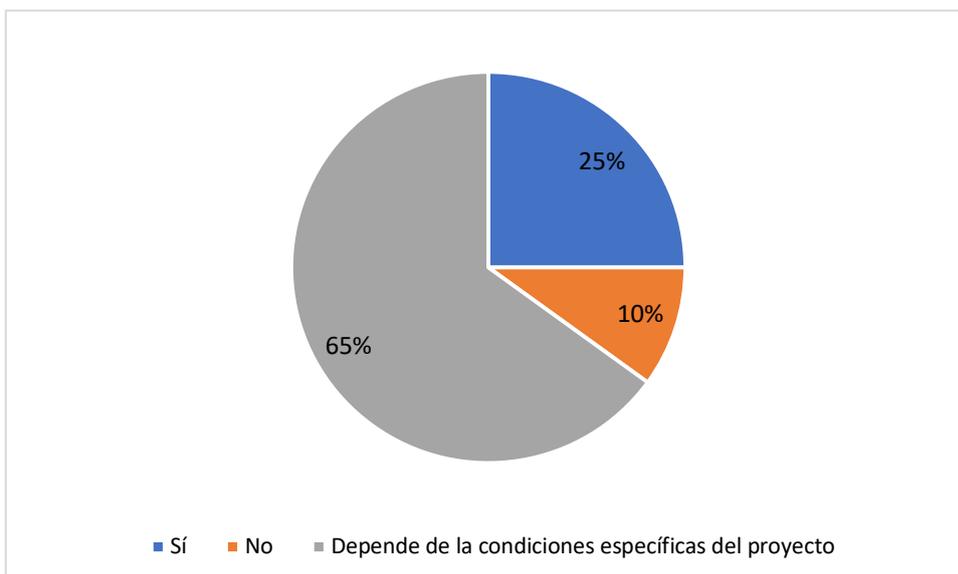
Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 38** ¿Qué opinión tiene sobre la facilidad de aplicación y manipulación de la mezcla asfáltica modificada con residuos del PVC tipo blíster en comparación con la tradicional?



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

**Figura 39** ¿Recomendaría la adopción de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster en lugar de la tradicional basándose en su experiencia técnica?



Elaborado por: Robayo y Robayo, (2024)

## CONCLUSIONES

Mediante la evaluación del desempeño técnico, de asfalto mezclado con polímero PVC tipo blíster, al compararla con la mezcla asfáltica tradicional. se concluye que, la mezcla de asfalto con un 1,25% de blíster se presenta como la mejor opción debido a su mayor estabilidad, lo que mejora la resistencia a la deformación y al desgaste. Aunque el flujo y el VMA son mayores, lo cual requiere un monitoreo cuidadoso para evitar problemas de deformación excesiva, la reducción en el costo total la convierte en una opción económicamente viable y técnicamente superior en términos de durabilidad y rendimiento.

La mezcla con 6% de asfalto destaca como la mejor opción, ya que combina la mayor estabilidad, el menor flujo y un adecuado balance entre VTM, VMA y VFA. Estas características indican una mezcla bien compactada, con buena cohesión y resistencia, lo cual es ideal para aplicaciones que requieren alta durabilidad y capacidad de carga

La mejor mezcla es la que contiene 1,25% de PVC tipo blíster. Esta mezcla presenta un buen balance entre bajo VTM y alto VFA, lo que sugiere una adecuada compactación y cohesión. Tiene la mayor estabilidad, y combinado con un flujo bajo, la convierte en la opción más adecuada para resistir deformaciones y mantener la integridad estructural bajo carga.

El flujo, medido en centésimas de pulgada, fue mayor en la mezcla con 0,75% de PVC (19,1 pulgadas/100), lo cual sugiere una mayor deformabilidad bajo carga. Las mezclas con 1,0% y 1,25% de PVC presentaron flujos más bajos (14,20 y 13,98 pulgadas/100, respectivamente), lo cual es más favorable, ya que indica una menor propensión a la deformación.

En términos de estabilidad, la mezcla con 1,25% de PVC mostró el valor más alto (2904,65 lbs) lo que indica una mayor resistencia a las cargas antes de fallar. La mezcla con 0,75% de PVC tuvo la estabilidad más baja (2268,2 lbs), mientras que la mezcla con 1,0% de PVC presentó una estabilidad intermedia (2876,01 lbs).

La encuesta realizada sobre el uso de mezclas asfálticas tradicionales versus mezclas modificadas con residuos de PVC tipo blíster mostró que, aunque el 75% de los encuestados tiene experiencia con ambas, no se observan diferencias

significativas en durabilidad y capacidad de absorción de agua entre las dos. El 45% considera que ambas mezclas tienen una resistencia similar a la deformación bajo cargas pesadas, mientras que el 70% encuentra que la facilidad de aplicación es comparable en ambos tipos. A pesar de que el 65% recomendaría el uso de mezclas modificadas con PVC tipo blíster dependiendo de las condiciones del proyecto, la mayoría no ha notado diferencias notables en propiedades clave como recuperación elástica.

## REFEENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2023). AASHTO Standards. Washington, D.C.: AASHTO
- Arciniegas, D. y Ríos, E. (2021). Análisis comparativo de la deformación y resistencia de la mezcla asfáltica con toba volcánica y mezcla asfáltica tradicional. *Ciencia Y Educación*, 2(4), 6-28. Recuperado a partir de <https://cienciayeducacion.com/index.php/journal/article/view/67>
- Campagnoli, S., (2017). Innovación En Métodos De Pavimentación: Casos Regionales. *Revista de Ingeniería*, (45), 22-31. <https://www.redalyc.org/pdf/1210/121052004006.pdf>
- Castellanos, W, y Chaves, S. (2020). Efecto del envejecimiento de mezclas asfálticas en el ciclo de vida del pavimento desde el aspecto técnico y ambiental. Revisión del estado de conocimiento. *Revista Vínculos*, 17(1), 7–23. <https://doi.org/10.14483/2322939X.16227>
- Castro, W.; Rondón, H.; y Barrero, J. (2016). Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de un asfalto convencional y uno modificado con un desecho de PEBD. *Ingeniería*, 21(1), 7-18. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2016.1.a01>
- Cruz Cajina, Nicole, Camacho Garita, Edgar, Baldi, Alejandra, & Aguiar Moya, José Pablo. (2021). Evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster. *Infraestructura Vial*, 23(42), 13-22. <https://dx.doi.org/10.15517/iv.v23i42.44688>.
- García, A. (22 de enero de 2016). *Core*. Recuperado el 21 de marzo de 2022, de <https://core.ac.uk/download/pdf/143451539.pdf>
- Guzmán, G., & Mogrovejo, D. (2017). Gestión sostenible del pavimento flexible, rígido y articulado del centro urbano del Cantón Girón. *Maskana*, 8(1), 207–217. Recuperado a partir de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1980>
- Ingeniería Civil. (12 de diciembre de 2017). *Ingeniería Civil*. Recuperado el 21 de marzo de 2022, de <https://ingenieriaciviluees.wordpress.com/normas/>

- Jwaida, Z.; Dulaimi, A.; Mydin, M.A.O.; Özkılıç, Y.O.; Jaya, R.P.; Ameen, A (2023). The Use of Waste Polymers in Asphalt Mixtures: Bibliometric Analysis and Systematic Review. *J. Compos. Sci.* 7, 415. <https://doi.org/10.3390/jcs7100415>.
- Leiva-Villacorta, Fabricio, & Vargas-Nordbeck, Adriana. (2017). Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP). *Infraestructura Vial*, 19(33), 35-44. Retrieved February 16, 2024, from [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-37052017000100035&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052017000100035&lng=en&tlng=es).
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (2012). Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12: Diseño, Construcción y Fiscalización de Obras Viales. Quito, Ecuador: MTOP. Quito, Ecuador: MTOP.
- Moreno Anselmi, L. A., & Calvo-López, D. A. (2016). Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado. *L'esprit Ingénieur*, 5(1). Recuperado a partir de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieur/article/view/1231>
- Monrroy, G. y Pardo, Rubby. (2020). Factibilidad De Desarrollar Pavimentos Con Plástico Reciclado. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2020 EIEI ACOFI, ago. 1-9. Doi: <https://doi.org/10.26507/ponencia.853>
- Montes de Oca Hidalgo, María Paula, Sequeira Rojas, Wendy, Ávila Esquivel, Tania, & Aguiar Moya, José Pablo. (2021). Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos en Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 23(42), 53-60. <https://dx.doi.org/10.15517/iv.v23i42.46947>
- Múniera, J.; y Ossa, A. (2014). Estudio de mezclas binarias Asfalto - Polímero. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (70), 18-33. Retrieved February 16, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302014000100003&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000100003&lng=en&tlng=es).
- MTOP. (12 de junio de 2021). *Obras públicas*. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec/el-mtop-al-servicio-del-pueblo-ecuadoriano/>
- NEVI. (2012). *Norma para estudios de diseños viales* (Vol. II). Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Recuperado el 22 de Marzo de 2022, de [https://ingenieriaciviluees.files.wordpress.com/2017/12/01-12-2013\\_manual\\_nevi-12\\_volumen\\_2a.pdf](https://ingenieriaciviluees.files.wordpress.com/2017/12/01-12-2013_manual_nevi-12_volumen_2a.pdf)

- Veranita y Bambang Tripoli (2021). The Effect of Using PVC as A Mixed Additive Material Asphalt Concrete Wearing Course. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 832012030. 2-10. doi:10.1088/1755-1315/832/1/012030.
- Vijayasimhan Sivapriya, S., & Ganesh-Kumar, S. (2019). Funcionalidad y costo-beneficio del uso de geosintetica como refuerzo de subgrado en el diseno de pavimento flexible. Revista Facultad de Ingenieria, 28(51), 39+. <https://link.gale.com/apps/doc/A587261729/IFME?u=anon~92fa34ef&sid=googleScholar&xid=897969be>
- Ortiz, E.; Ortiz, H.; Macías, L.; (2023). Comparativo De Las Propiedades De Un Diseño De Mezcla Asfáltica En Caliente Convencional Y El Uso De Polímeros En La Carretera Tosagua. Universidad, Ciencia Y Tecnología Universidad, Ciencia Y Tecnología Volumen Especial N° 01 pp. 107-114.
- Reyes Lizcano, Fredy Alberto, Guáqueta Echeona, Catalina, Porrás Salcedo, Laura Melissa, & Rondón Quintana, Hugo Alexander. (2013). Comportamiento De Un Cemento Asfáltico Modificado Con Un Desecho De Pvc. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 12(22), 75-84. Retrieved February 16, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242013000100007&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242013000100007&lng=en&tlng=es)
- Reyes-Ortiz, Oscar Javier, Camacho-Tauta, Javier Fernando, & Londoño León, Angie. (2013). Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del agregado pétreo. Revista Científica General José María Córdova, 11(12), 215-232. Retrieved February 16, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1900-65862013000200011&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-65862013000200011&lng=en&tlng=es)
- Rondón-Quintana, Hugo A., Urazán-Bonells, Carlos F., & Chaves-Pabón, Saieth B.. (2015). Influencia de la temperatura de compactación sobre la resistencia de un material granular estabilizado con asfalto en caliente tipo MGEA\_A. Tecnológicas, 18(34), 51-62. Retrieved February 16, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-77992015000100005&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100005&lng=en&tlng=es)
- Sangucho Barros, Darwin Santiago, Velasco Cevallos, Danny Alexander, & Viera Arroba, Luisa Paulina. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción. FIGEMPA:

Investigación y Desarrollo, 16(2), 58-69.  
<https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4495>

## Anexo 1 Encuesta

1. ¿Cuál es su experiencia en el campo de la construcción de carreteras y pavimentos asfálticos?
  1. Menos de 1 año
  2. 1 a 3 años
  3. 3 a 5 años
  4. Más de 5 años
2. ¿Ha trabajado anteriormente con mezclas asfálticas tradicionales?
  1. Sí
  2. No
3. ¿Ha trabajado anteriormente con mezclas asfálticas modificadas con residuos de PVC tipo blíster?
  1. Sí
  2. No
4. En términos de durabilidad, ¿cómo calificaría la mezcla asfáltica tradicional en comparación con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?
  1. Peor
  2. Similar
  3. Mejor
  4. Mucho mejor
5. ¿Qué tan resistente considera que es la mezcla asfáltica tradicional en comparación con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?
  1. Menos resistente
  2. Igual de resistente
  3. Más resistente
6. ¿Ha notado alguna diferencia en la capacidad de absorción de agua entre la mezcla asfáltica tradicional y la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?
  1. Sí
  2. No
  3. No estoy seguro
7. En términos de resistencia a la deformación bajo cargas pesadas, ¿cómo compararía la mezcla asfáltica tradicional con la mezcla modificada con residuos de PVC tipo blíster?
  1. La tradicional es mejor
  2. Son similares
  3. La modificada con PVC tipo blíster es mejor
8. ¿Ha observado alguna diferencias en la capacidad de recuperación elástica entre ambas mezclas?
  1. Sí
  2. No
  3. No estoy seguro
9. ¿Qué opinión tiene sobre la facilidad de aplicación y manipulación de la mezcla asfáltica modificada con residuos del PVC tipo blíster en comparación con la tradicional?
  1. Más difícil de aplicar
  2. Igual de fácil de aplicar
  3. Más fácil de aplicar
10. ¿Recomendaría la adopción de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster en lugar de la tradicional basándose en su experiencia técnica?

1. Sí
2. No
3. Depende de la condiciones específicas del proyecto