



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE  
GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

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

**TEMA**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE  
PAVIMENTOS FLEXIBLES Y PAVIMENTOS FLEXIBLES  
CON RAP EN AMÉRICA.**

**TUTOR**

**ING. MARIA ELOISA PARRA SALCEDO**

**AUTOR**

**HUGO ABRAHAM LUCIN ANGEL**

**GUAYAQUIL**

**2024**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:**

Análisis comparativo del desempeño de pavimentos flexibles y pavimentos flexibles con RAP en América

**AUTOR/ES:**

Lucin Ángel Hugo Abraham

**TUTOR:**

Parra Salcedo María Eloísa

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad Laica Vicente  
Rocafuerte de Guayaquil**

**Grado obtenido:**

Ingeniero Civil

**FACULTAD:**

FACULTAD DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN

**CARRERA:**

INGENIERÍA CIVIL

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

2024

**N. DE PÁGS:** 88

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Arquitectura y Construcción

**PALABRAS CLAVE:** Asfalto, Evaluación comparativa, Infraestructura vial, Reciclaje de desecho

**RESUMEN:**

La falta de investigación sobre el desempeño de pavimentos flexibles con Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) en América dificulta la toma de decisiones informadas sobre su idoneidad. Este estudio busca realizar un análisis y procesamiento comparativo exhaustivo del desempeño de pavimentos flexibles tradicionales y aquellos que incorporan RAP en diferentes regiones en un periodo 5 últimos años en América.

La presente investigación tiene como objetivo la recolección de una revisión sistemática de la literatura y bibliografía a lo largo del continente de ensayos de flexión en cuatro puntos según la normativa ASSTHO T321 -17 para evaluar el comportamiento a fatiga de los pavimentos o mezclas asfálticas convencionales y pavimentos asfálticos reciclados con la relación entre nivel de deformación y el números de ciclos a falla de las cuales permitirá obtener datos valiosos sobre el desempeño de estos pavimentos en diferentes condiciones. Identificando los factores clave que influyen en su comportamiento, como la durabilidad y la resistencia, para ello realiza un análisis y procesamiento comparativo riguroso y exhaustivo de estos datos procesados, de las cuales brindará una base sólida

<p>sobre la tendencia a lo largo de los últimos 5 años tanto para pavimentos flexibles convencionales y los que incorporan RAP, para el desarrollo de normas y especificaciones técnicas que garanticen la calidad y el rendimiento óptimo de los pavimentos flexibles. Además, este estudio contribuirá al desarrollo de una infraestructura vial más sostenible y duradera, al optimizar los diseños de mezcla y las técnicas de construcción para maximizar el rendimiento y la vida útil de estos pavimentos.</p>		
<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</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> Lucin Ángel Hugo Abraham	<b>Teléfono:</b> 0999827537	<b>E-mail:</b> hlucina@ulvr.edu.ec
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	Dr. Marcial Sebastián Calero Amores <b>Teléfono:</b> (04)259 6500 <b>Ext. 241</b> <b>E-mail:</b> mcaleroa@ulvr.edu.ec	
	Ing. Jorge Enrique Torres Rodríguez <b>Teléfono:</b> (04) 259 6500 <b>Ext. 241</b> <b>E-mail:</b> etorresr@ulvr.edu.ec	

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

LUCIN\_TURNITIN 2.pdf

### INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.usm.cl](http://repositorio.usm.cl)

Fuente de Internet

2%

2

[ri-ng.uaq.mx](http://ri-ng.uaq.mx)

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Aliat Universidades

Trabajo del estudiante

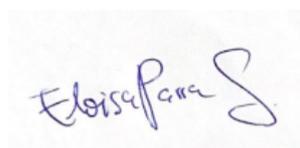
2%

4

[cprcuencasmineras.es](http://cprcuencasmineras.es)

Fuente de Internet

1%



Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

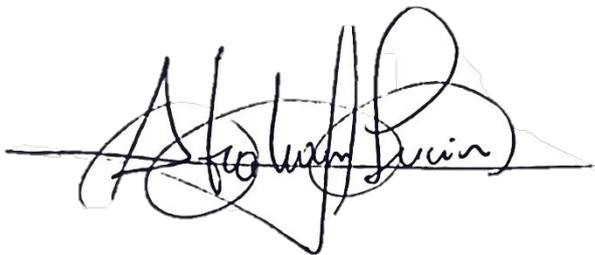
Activo

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) HUGO ABRAHAM LUCIN ANGEL, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Análisis comparativo del desempeño de pavimentos flexibles y pavimentos flexibles con Rap en América, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autor(es)  
Firma:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hugo Abraham Lucin', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

HUGO ABRAHAM

LUCIN C.I. 0953359023

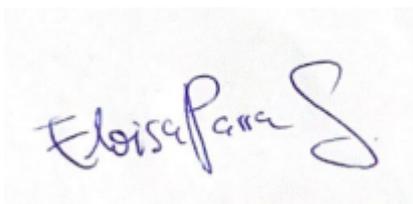
## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Análisis comparativo del desempeño de pavimentos flexibles y pavimentos flexibles con Rap en América, 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: Análisis comparativo del desempeño de pavimentos flexibles y pavimentos flexibles con Rap en América presentado por el (los) estudiante (s) HUGO ABRAHAM LUCIN ANGEL como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

A handwritten signature in blue ink that reads "Eloisa Parra S." The signature is written in a cursive style.

MARIA ELOISA PARRA SALCEDO

C.C.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero expresar mi más profunda gratitud a Dios por guiarme en este camino, brindándome la fortaleza y perseverancia necesaria para alcanzar esta meta académica. Agradezco especialmente a mi tutora Msc. María Eloísa Parra Salcedo, cuya orientación, paciencia y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Su dedicación y apoyo constante han sido invaluableles en este proceso.

Extiendo mi reconocimiento a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, quienes a lo largo de mi carrera han compartido generosamente sus conocimientos y experiencias, contribuyendo significativamente a mi formación profesional.

A la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, le agradezco por proporcionar un ambiente académico estimulante y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Su compromiso con la excelencia educativa ha sido crucial en mi desarrollo como ingeniero.

Finalmente, por brindar el contexto y los desafíos que inspiraron este trabajo, permitiéndome aplicar los conocimientos adquiridos en situaciones reales y relevantes para el campo.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por ser parte fundamental de este logro académico y profesional.

## DEDICATORIA

A mis amados padres, María Magdalena Ángel, el ángel que ilumina mi vida. Mamá, tu amor incondicional, tu sacrificio diario y tu inquebrantable fe en mí han sido mi mayor motivación. Cada página de este trabajo está impregnada de tu esencia y tus enseñanzas. E Iván Lucin Solís, consejos, sacrificio y apoyo constante. Sin ustedes, nada de esto sería posible.

A mis queridos hermanos, Ivanna y Cristhoffer Lucin Ángel, mis compañeros de vida. Por su inspiración y me ha impulsado a ser mejor cada día. Este logro también es suyo.

A mis tíos, por su generosidad y respaldo en momentos cruciales de esta etapa universitaria.

A mis grandes amigos: Daniel Yagual Bernabe, por tu amistad sincera y apoyo incondicional. Joel Mazur, por tu compañerismo y los momentos compartidos durante esta etapa. Jesús Macías Cantos y Fernando Vélez, quienes, a pesar de la distancia, me han brindado su aliento y amistad. Que sus sueños se hagan realidad en tierras lejanas.

A todos ustedes, que han sido pilares fundamentales en mi vida y en este logro académico, les dedico este trabajo con todo mi corazón y gratitud.

## RESUMEN

La falta de investigación sobre el desempeño de pavimentos flexibles con Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) en América dificulta la toma de decisiones informadas sobre su idoneidad. Este estudio busca realizar un análisis y procesamiento comparativo exhaustivo del desempeño de pavimentos flexibles tradicionales y aquellos que incorporan RAP en diferentes regiones en un periodo 5 últimos años en América.

La presente investigación tiene como objetivo la recolección de una revisión sistemática de la literatura y bibliografía a lo largo del continente de ensayos de flexión en cuatro puntos según la normativa ASSTHO T321 -17 para evaluar el comportamiento a fatiga de los pavimentos o mezclas asfálticas convencionales y pavimentos asfálticos reciclados con la relación entre nivel de deformación y el números de ciclos a falla de las cuales permitirá obtener datos valiosos sobre el desempeño de estos pavimentos en diferentes condiciones. Identificando los factores clave que influyen en su comportamiento, como la durabilidad y la resistencia, para ello realiza un análisis y procesamiento comparativo riguroso y exhaustivo de estos datos procesados, de las cuales brindará una base sólida sobre la tendencia a lo largo de los últimos 5 años tanto para pavimentos flexibles convenciones y los que incorporan RAP, para el desarrollo de normas y especificaciones técnicas que garanticen la calidad y el rendimiento óptimo de los pavimentos flexibles. Además, este estudio contribuirá al desarrollo de una infraestructura vial más sostenible y duradera, al optimizar los diseños de mezcla y las técnicas de construcción para maximizar el rendimiento y la vida útil de estos pavimentos.

**Palabras Claves:** Asfalto, Evaluación comparativa, Infraestructura vial,  
Reciclaje de desecho

## ABSTRACT

The lack of research on the performance of flexible pavements with Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in America makes it difficult to make informed decisions about their suitability. This study seeks to perform an exhaustive comparative analysis and processing of the performance of traditional flexible pavements and those incorporating RAP in different regions over a period of the last 5 years in America.

The present research aims to collect a systematic review of the literature and bibliography throughout the continent of four-point bending tests according to the ASSTHO T321 -17 standard to evaluate the fatigue behavior of conventional asphalt pavements or mixtures and recycled asphalt pavements with the relationship between the level of deformation and the number of cycles to failure from which it will allow obtaining valuable data on the performance of these pavements under different conditions. By identifying the key factors that influence their behavior, such as durability and resistance, a rigorous and exhaustive comparative analysis and processing of these processed data is carried out, which will provide a solid basis on the trend over the last 5 years for both conventional flexible pavements and those incorporating RAP, for the development of standards and technical specifications that guarantee the quality and optimal performance of flexible pavements. In addition, this study will contribute to the development of a more sustainable and durable road infrastructure, by optimizing mix designs and construction techniques to maximize the performance and service life of these pavements.

**Keywords:** Asphalt, Comparative evaluation, Road infrastructure, Waste recycling

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE SIMILITUD .....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES .....	v
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR .....	vi
CERTIFICO: .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE GENERAL.....	xi
INDICE DE TABLAS .....	xiv
INDICE DE FIGURAS .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I ENFOQUE DE LA PROPUESTA.....	2
1.1 Tema:.....	2
1.2 Planteamiento del Problema:.....	2
1.3 Formulación del Problema:.....	3
1.4 Objetivo General .....	3
1.5 Objetivos Específicos .....	3
1.6 Idea a Defender.....	4
1.7 Línea de Investigación Institucional. ....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO REFERENCIAL.....	5
2.1. Marco Teórico: .....	5
2.1.1. Antecedentes.....	5
2.2. Palabras claves .....	7
2.2.1. Pavimentos flexibles tradicionales: .....	7
2.2.2. Desempeño del pavimento: .....	8
2.2.3. Fatiga de pavimento .....	8
2.2.4. Diseño de los pavimentos flexibles: .....	8
2.2.5. Método ASSTHO T321-17 .....	8
2.2.6. Asfalto reciclado (RAP).....	8
2.2.7. Obtención de RAP .....	9
2.2.8. Beneficios del RAP .....	10
2.2.9. Desafíos del Uso de RAP .....	10
2.2.10. Infraestructura vial .....	10
2.2.11. Desempeño de pavimentos .....	10
2.2.12. Sostenibilidad de pavimentos .....	10

2.2.13.	Análisis comparativo .....	10
2.2.14.	Pavimentos Flexibles .....	11
2.2.15.	Durabilidad de Pavimentos .....	11
2.2.16.	Tecnologías de pavimentos ecológicos .....	11
2.2.17.	Evaluación de Ciclo de Vida .....	12
2.2.18.	Análisis de Costo de Pavimentación .....	12
2.2.19.	Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos.....	12
2.3.	Marco Legal:.....	12
2.3.1	Ley Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre .....	12
2.3.2.	Ley Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre .....	13
2.3.3.	NEVI – 12 – MTOP VOLUMEN 1 .....	14
2.3.4.	NEVI – 12 – MTOP VOLUMEN 2A – B .....	15
2.3.5.	NEVI – 12 – MTOP VOLUMEN N°4 ESTUDIOS Y CRITERIOS AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS VIALES.....	17
2.3.6.	NEVI – 12 – MTOP VOLUMEN 5 VOLUMEN 5 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN Y SEGURIDAD VIAL.....	18
2.3.7.	ASSHTO T321 -17.....	20
2.3.8.	EN 12697- 24 .....	20
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....		24
3.1	Enfoque de la investigación: .....	24
3.2	Alcance de la investigación: .....	24
3.3.	Técnica e instrumentos para obtener los datos .....	25
3.3.1.	Técnica.....	25
3.3.1.1.	Revisión sistemática de literatura.....	25
3.3.1.2.	Procesamiento de datos .....	25
3.3.2.	Instrumento.....	26
3.3.2.1.	Bibliotecas digitales .....	26
3.3.2.2.	Excel.....	27
CAPÍTULO IV.....		28
4.1.	Presentación y análisis de resultados .....	28
4.1.2.	Ensayo de viga a flexión en cuatro puntos.....	28
4.2.	Ensayo de flexión en cuatro puntos en pavimentos flexible convencionales .....	32
4.2.1.	Primer ensayo.....	32
4.2.2.	Segundo ensayo.....	34
4.2.3.	Tercer ensayo.....	36
4.2.4.	Cuarto ensayo .....	38
4.2.5.	Quinto ensayo.....	39
4.3.	Análisis de resultados.....	42
4.4.	Ciclo de vida por curva de fatiga.....	43

4.4.1.	Primer ensayo.....	44
4.4.2.	Segundo ensayo.....	45
4.4.3.	Tercer ensayo.....	46
4.4.4.	Cuarto ensayo.....	47
4.4.5.	Quinto ensayo.....	48
4.5.	Ensayos a flexión en cuatro puntos en pavimento asfálticos reciclados.....	49
4.5.1.	Primer ensayo.....	49
4.5.2.	Segundo ensayo.....	52
4.5.3.	Tercer ensayo.....	53
4.5.4.	Cuarto Ensayo.....	55
4.5.5.	Quinto Ensayo.....	57
4.6.	Análisis de resultados.....	60
4.7.	Ciclo de vida por curva de fatiga para pavimentos flexibles con RAP.....	61
4.7.1.	Primer ensayo.....	61
4.7.2.	Segun ensayo.....	62
4.7.3.	Tercer ensayo.....	63
4.7.4.	Cuarto ensayo.....	64
4.7.5.	Quinto ensayo.....	65
CONCLUSIONES.....		66
RECOMENDACIONES.....		68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		69

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Línea de investigación .....	4
Tabla 2: Resumen de relaciones mediante normativa ASSHTO T321-17 .....	29
Tabla 3: Resumen de valores del primer ensayo de fatiga .....	33
Tabla 4: Resumen de valores de segundo ensayo de fatiga de pavimentos flexibles.....	35
Tabla 5: Resumen de valores de tercer ensayo de fatiga de pavimentos flexibles.....	37
Tabla 6: Resumen de valores de cuarto ensayo de fatiga de pavimentos flexibles.....	38
Tabla 7: Resumen de valores de quinto ensayo de pavimentos flexibles.....	40
Tabla 8: Resumen de valores para cálculo de ciclo de vida útil del primer ensayo pavimentos flexibles.....	44
Tabla 9: Resumen de valores para cálculo de ciclo de vida útil del primer ensayo pavimentos flexibles.....	45
Tabla 10: Resumen de valores para cálculo de ciclo de vida útil del segundo ensayo pavimentos flexibles .....	46
Tabla 11: Resumen de valores de cuarto ensayo de pavimentos flexibles.....	47
Tabla 12: Resumen de los valores de quinto ensayo de pavimentos flexibles ..	48
Tabla 13: Resumen de valores de ensayo a fatiga pavimentos flexibles con RAP .....	50
Tabla 14: Resumen de valores de ensayo de fatiga pavimentos flexibles con RAP .....	52
Tabla 15: Resumen de valores de ensayo de fatiga de tercer pavimentos flexibles con RAP.....	54
Tabla 16: Resumen de valores de cuarto ensayo de fatiga pavimentos flexibles con RAP.....	56
Tabla 17: Resumen de valores de quinto ensayo de fatiga pavimentos flexibles con RAP.....	58
Tabla 18: Resumen de valores de primer ensayo pavimentos flexibles con RAP .....	61
Tabla 19: Resumen de valores de segundo ensayo pavimentos flexibles con RAP .....	

.....	62
Tabla 20: Resumen de valores de tercer ensayo de pavimentos flexibles con RAP	
.....	63
Tabla 21: Resumen de valores de cuarto ensayo pavimentos flexibles con RAP	
.....	64
Tabla 22: Resumen de valores de quinto ensayo pavimentos flexibles con RAP	
.....	65

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Asfalto reciclado .....	9
Figura 2: Fresado de pavimento asfaltico .....	9
Figura 3: Capas del asfalto .....	11
Figura 4: Curva de fatiga del primer ensayo pavimento flexible tradicional .....	34
Figura 5: Curva de fatiga del segundo ensayo de pavimento flexible tradicional .....	36
Figura 6: Curva de fatiga del tercer ensayo de pavimento flexible tradicional ..	37
Figura 7: Curva de fatiga del cuarto ensayo de pavimento flexible tradicional ..	39
Figura 8: Curva de fatiga del quinto ensayo de pavimento flexible tradicional..	41
Figura 9: Tendencia de desempeño 2019-2023 .....	42
Figura 10: Curva de fatiga de primer ensayo de pavimento flexible con RAP ..	51
Figura 11: Curva de fatiga del segundo ensayo de pavimento flexible con RAP .....	53
Figura 12: Curva de fatiga del tercer ensayo de pavimento flexible con RAP ..	55
Figura 13: Curvade fatiga de cuarto ensayo de pavimento flexible con RAP ...	57
Figura 14: Curva de fatiga del quinto ensayo de pavimento flexible con RAP ..	59
Figura 15: Tendencia de desempeño de pavimento flexible con RAP (2019-2023) .....	60

## INTRODUCCIÓN

Los pavimentos flexibles contribuyen a una gran parte de la infraestructura vial de las cuales desempeñan un papel importante en América. A su vez permite el crecimiento de ciudades en donde se desarrollan económicamente y socialmente. Compuesto de capas granulares y diseñado para soportar cargas pesadas y proporcionar una superficie, segura eficiente de vehículos, facilitando el transporte de bienes y personas.

En este contexto, el uso de pavimentos flexibles que incorporan material reciclado de pavimentos asfálticos (RAP, por sus siglas en inglés) ha surgido como una alternativa más sostenible a los métodos tradicionales. El RAP se obtiene fresando y triturando pavimentos asfálticos y luego se reutiliza como ingrediente en nuevas mezclas de pavimentos, lo que reduce la necesidad de nuevos materiales y reduce la generación de residuos. Esta práctica no sólo tiene beneficios ambientales, sino que también puede ahorrar significativamente los costos de construcción y mantenimiento de carreteras.

No obstante, a pesar de los beneficios potenciales del uso de RAP, su implementación en la región de América ha sido irregular y su desempeño a largo plazo en comparación con los pavimentos tradicionales no ha sido ampliamente estudiado. Factores como el diseño de la mezcla, las condiciones climáticas y las cargas de tráfico afectan el desempeño y la durabilidad de estos pavimentos. En algunas áreas se han reportado fallas prematuras del pavimento y reducción de la vida útil con RAP, mientras que en otras el desempeño ha sido satisfactorio. Esta diferencia en los resultados indica la necesidad de realizar más investigaciones para comprender los factores que afectan el desempeño de los pavimentos RAP y desarrollar estrategias efectivas para su implementación en diferentes situaciones.

## CAPÍTULO I

### ENFOQUE DE LA PROPUESTA

#### 1.1 Tema:

Análisis comparativo del desempeño de pavimentos flexibles y pavimentos flexibles con RAP en América.

#### 1.2 Planteamiento del Problema:

El aumento constante del tráfico vehicular, las condiciones climáticas diversas y la necesidad de una mayor durabilidad de los pavimentos representan desafíos significativos para la infraestructura vial en América. A pesar de los esfuerzos por implementar el uso de pavimentos flexibles con RAP como una alternativa más sostenible, no existe un análisis comparativo exhaustivo que evalúe su desempeño frente a los pavimentos flexibles tradicionales en diferentes escenarios regionales.

Este vacío en la investigación dificulta la toma de decisiones informadas sobre la idoneidad del uso de RAP. Además, la falta de un marco de referencia comparativo impide optimizar los diseños de mezcla y las técnicas de construcción para maximizar el rendimiento y la vida útil de estos pavimentos. Por lo tanto, es imperativo realizar un análisis y procesamiento comparativo exhaustivo del desempeño de pavimentos flexibles tradicionales y aquellos que incorporan RAP en diferentes regiones de América. Este estudio permitirá identificar los factores clave que influyen en su comportamiento, establecer pautas para su implementación eficaz y contribuir al desarrollo de una infraestructura vial más sostenible y duradera. Reciclar asfalto no solo ahorra dinero, sino que también reduce la cantidad de desechos que se envían a los vertederos. (Vaisnav, 2024)

Adicionalmente, la ausencia de un enfoque estandarizado para evaluar el desempeño de estos pavimentos ha generado inconsistencias en los resultados reportados, dificultando la comparación precisa entre diferentes

proyectos y regiones. Un análisis comparativo riguroso y sistemático brindará una base sólida para el desarrollo de normas y especificaciones técnicas que garanticen la calidad y el rendimiento óptimo de los pavimentos flexibles, ya sean tradicionales o con incorporación de RAP.

### **1.3 Formulación del Problema:**

¿Cómo se compara el desempeño de los pavimentos flexibles con RAP frente a los pavimentos flexibles tradicionales y que factores claves en América, influyen en su rendimiento óptimo, con el fin de establecer pautas estandarizadas para su implementación efectiva?

### **1.4 Objetivo General**

Analizar de manera comparativa el desempeño de pavimentos flexibles tradicionales y pavimentos flexibles con RAP en América, evaluando factores clave, con el fin de establecer pautas estandarizadas para su implementación efectiva.

### **1.5 Objetivos Específicos**

- Realizar una revisión científica y técnica pavimentos flexibles convencionales y pavimentos flexibles con RAP, centrándose en aspectos como durabilidad, resistencia y gestión eficiente en la infraestructura vial.
- Identificar y analizar los factores clave que influyen en el desempeño de los pavimentos flexibles tradicional y pavimentos flexibles con RAP.
- Evaluar críticamente la información recopilada para comparar el desempeño de pavimentos, con el fin de proporcionar recomendaciones específicas como análisis visual de superficies, y mediciones de irregularidad.

## 1.6 Idea a Defender

La presente investigación resaltará la utilización del asfalto reciclado en pavimentos flexibles la cual tendrá un efecto positivo en su rendimiento, brinde la mayor resistencia a la fatiga y carga excesiva en América y una mejor capacidad de recuperación la cual se evidenciaría una vida útil optima de pavimentos. En temas ambientales se espera que el uso de asfalto reciclado disminuya la cantidad de materiales de construcción y reducción de costos de mantenimientos esto favorecería a la sostenibilidad, brindando una mejor alternativa a la opción de construcción y mantenimientos del mismo.

## 1.7 Línea de Investigación Institucional.

Tabla 1: Línea de investigación

<b>Campo de conocimiento</b>	<b>Línea de investigación</b>	<b>Sub línea de investigación</b>
Ingeniería, Industria y construcción.	Territorio	Hábitat y Vivienda Recursos Hídricos

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte, (2024)

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Marco Teórico:

##### 2.1.1. Antecedentes

- ❖ (Wilmer Aníbal Guaño Llumiquinga, “ESTUDIO COMPARATIVO DE DISEÑO ENTRE PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL Y PAVIMENTO FLEXIBLE CON BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO DE LA VÍA PASO LATERAL DE JARAMIJÓ PROVINCIA DE MANABÍ”. Facultad de Ciencias matemáticas y físicas Carrera de Ingeniería Civil, 2016)

Indica que:

El respectivo estudio contribuye al mejor comportamiento mecánico, ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa para la construcción de pavimentos flexibles muy similares a aquellos construidos con un diseño de pavimento flexible convencional; ya que la base de agregados estabilizada con cemento nos permite disminuir espesores de agregados para la construcción de las capas en los pavimentos, debido a su mayor rigidez; también nos permite hacer uso de la mayoría de agregados presentes en la naturaleza .

- ❖ (Vera Piloso Lisbeth Narcisa, “USO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DEL RECINTO LA CARMELA, CANTÓN SANTA LUCÍA”. Facultad de Ciencias matemáticas y físicas Carrera de Ingeniería Civil, 2022)

Indica que:

El presente trabajo de titulación consiste en comprobar las características de una mezcla convencional con una mezcla

modificada con RAP, para aplicar estos materiales en el diseño de una estructura de pavimento flexible. Mediante ensayos de laboratorio se evaluó las características volumétricas y mecánicas de ambas mezclas. El diseño de la estructura de pavimento flexible se realizó con el método ASSHTO 93.

- ❖ (Salazar Holguín, Diana Jessica, “ANÁLISIS SUPERFICIAL DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. PORTETE DE TARQUI DESDE LA CALLE 38AVA HASTA LA CALLE 17AVA POR EL MÉTODO DEL PCI, EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS PARA EL AÑO 2015” Facultad de Ciencias matemáticas y físicas Carrera de Ingeniería Civil. 2016) Indica que:

Un estudio la cual se encontramos dos tipos de manuales uno para pavimento flexible y otro para pavimento rígido. En el presente proyecto se realizó un análisis del proyecto se realizó un estudio de tráfico y una inspección visual con la ayuda del manual de daños para pavimento flexible, para reconocer cada tipo de falla y así obtener el estado real de la vía en porcentaje y saber que acción tomar frente a su estado.

- ❖ (Chicaiza Sambonino, María Fernanda, “REHABILITACIÓN VIAL CON RECICLADO Y EMULSIÓN ASFÁLTICA CON APLICACIÓN EN LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE QUITO. (AV. SIMÓN BOLÍVAR)”. Trabajo de Graduación previo la obtención del Título de Ingeniero Civil. Carrera de Ingeniería Civil. Quito. UCE. 262 p. 2013) Indica que:

La presente tesis brinda una alternativa de rehabilitación vial más competitiva y sostenible que la actuación convencional de refuerzo, ya que permite la utilización de recursos no renovables, áridos naturales y ligantes hidrocarbonados de origen petrolífero, y

previene la creación de residuos y la ocupación de botaderos, disminuyendo por consiguiente la necesidad de transportar estos materiales desde y hacia la obra.

- ❖ (Jaramillo Soto, W.P., Places Jácome, J.A, “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON MATERIAL RECICLADO (RAP) UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON ACEITE DE MOTOR DESECHADO DE VEHÍCULOS”. Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación previa la obtención del Título de Ingeniero Civil. UCE, 2022)

Indica que:

Esta tesis presenta la reutilización de materiales o sus nuevos usos son beneficiosos al ambiente cuando los desechos son utilizados para otros fines ayudamos a reducir los desperdicios y utilizar los recursos que son cada vez más difíciles de conseguir. En la presente investigación se utilizó material asfáltico recuperado (RAP) y aceite de motor desechado de vehículos para encontrar una emulsión asfáltica ecológica que cumpla con los requerimientos exigidos por las normas correspondientes.

## **2.2. Palabras claves**

### **2.2.1. Pavimentos flexibles tradicionales:**

Es un tipo de pavimento que contiene una capa resistente al tráfico, trabajable utilizando asfalto de manera tradicional como material principal en su construcción y compactado por capas (Webbing, 2022).

### **2.2.2. Desempeño del pavimento:**

Es la determinación de la mezcla asfáltica que conforma el pavimento elaborado para cumplir con deformaciones plásticas, fenómeno de fatiga, necesario para resistir las cargas para brinda comodidad y seguridad al usuario. (Hugo, 2010).

### **2.2.3. Fatiga de pavimento**

Se denomina así, al modo de falla comúnmente en pavimentos disminuyendo su capacidad de servicio, la cual se caracteriza por presencia de fisuras longitudinales y transversales que se generan en la superficie (Horacio et al., 2016).

### **2.2.4. Diseño de los pavimentos flexibles:**

Consiste en la adecuada determinación de espesores que se utilizará para cada capa que constituye el pavimento y permitirá soportar las cargas pertinentes (Webbing, 2022).

### **2.2.5. Método ASSTHO T321-17**

Busca analizar la resistencia de las mezclas asfálticas a la fatiga a largo plazo. De la misma manera es vital en la planificación y construcción de carreteras, contribuye a asegurar la durabilidad y el desempeño de las mismas, para obtener una comprensión completa y precisa del comportamiento de las mezclas asfálticas bajo condiciones de carga repetida (Mora et al., 2021).

### **2.2.6. Asfalto reciclado (RAP)**

Es el pavimento asfáltico en el cual se recupera el material pétreo que ha cumplido su vida útil y permite la realización de nuevas mezclas (Arguello, 2019).

Figura 1: Asfalto reciclado



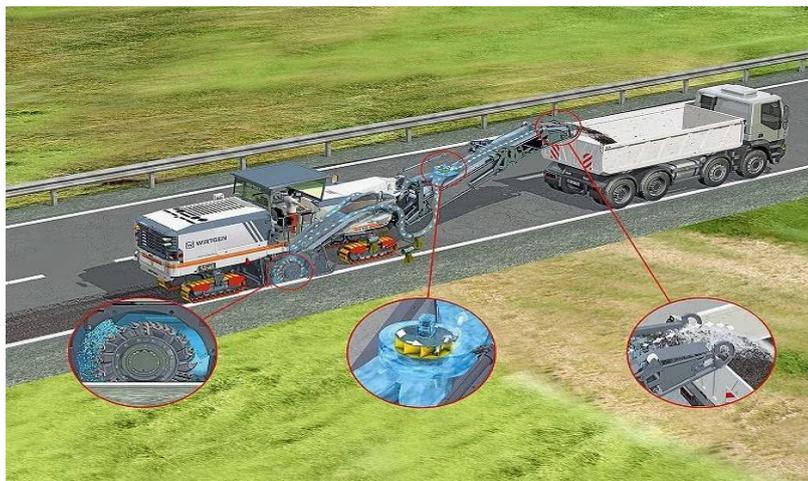
Nota: se observa la representación gráfica del pavimento asfáltico reciclador

Fuente: Pavitek, (2021)

### 2.2.7. Obtención de RAP

Este tipo de material se obtiene mediante el uso de fresadoras en frío y consiste en rasgar retirar la capa superior de asfalto de las carreteras de las cuales se encuentra deterioradas ya sea por fisuras, agrietamiento a lo largo de la vía y vaciadas en volquetas (Baioni, 2022).

Figura 2: Fresado de pavimento asfáltico



Nota: Se observa la representación gráfica del fresado del pavimento asfáltico reciclado

Fuente: Interempresa, (2018)

### **2.2.8. Beneficios del RAP**

Sus beneficios son reutilización de material pétreo, ahorro de costos para rehabilitación de vías, reducción de tiempo para mantenimiento, reduce el desperdicio en botaderos, permite el uso para futuros estudios con este tipo de material (Calidad, 2020)

### **2.2.9. Desafíos del Uso de RAP**

Uno de los desafíos es la presencia altamente del nivel freático lo que provoque desprendimiento de la capa junto con el posible contaminante orgánicos que contengan ciertas apilamiento de rap (Villacorta et al., 2017).

### **2.2.10. Infraestructura vial**

Se denomina al conjunto de elementos físicos que están interconectados y cumplen con el diseño de la vía pública. Su importancia se basa en un desarrollo económico y movilidad de los usuarios eficiencia en el desarrollo de un país (Ministerio de transporte de Argentina, 2022).

### **2.2.11. Desempeño de pavimentos**

Se refiere a la capacidad del asfalto para comportarse adecuadamente en diversas condiciones. La resistencia a deformaciones, la carga de tráfico, son algunos de los factores que afectan el desempeño del asfalto. (Instituto Mexicano del Transporte, 2005).

### **2.2.12. Sostenibilidad de pavimentos**

Se refiere a la implementación de prácticas y tecnologías que buscan reducir y promover un uso más eficiente de los recursos en la producción, uso y mantenimiento de asfaltos y pavimentos (Socotec, 2022).

### **2.2.13. Análisis comparativo**

Es una estrategia ampliamente enfocada en un método investigativo, donde recopila y analiza información de comparación entre

dos o más procesos u objetos de estudio (Rodríguez y Bastidas, 2022).

#### 2.2.14. Pavimentos Flexibles

El pavimento flexible es un tipo de pavimento que se utiliza en la construcción de carreteras y otros lugares donde hay mucho tráfico. Se distingue por su capacidad para deflectarse o flexionarse en respuesta a las cargas que lo atraviesan (Bitafal, 2020).

Figura 3: Capas del asfalto



Nota: se observa la representación gráfica de las capas del asfalto.

Fuente: Villarroel, (2016)

#### 2.2.15. Durabilidad de Pavimentos

La capacidad de un pavimento para resistir el deterioro y mantener su funcionamiento a lo largo del tiempo. Varios factores, como la calidad de los materiales utilizados, el diseño y la construcción adecuados y el mantenimiento regular, afectan la durabilidad de un pavimento (Pérez, 2023).

#### 2.2.16. Tecnologías de pavimentos ecológicos

Se utilizan tecnologías de pavimento ecológico para reducir el impacto ambiental y promover la sostenibilidad. Estas tecnologías se enfocan en el uso de materiales y métodos de construcción que reducen el consumo de recursos naturales, reducen las emisiones de gases de

efecto invernadero y fomentan la reutilización y el reciclaje de materiales (Grupo Grasa, 2023).

#### **2.2.17. Evaluación de Ciclo de Vida**

Se utiliza la evaluación del ciclo de vida del asfalto para analizar y evaluar los efectos ambientales y energéticos de un sistema de asfalto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. El consumo de recursos naturales, las emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de desechos y otros impactos ambientales relacionados son considerados en esta evaluación (Zapata, 2021).

#### **2.2.18. Análisis de Costo de Pavimentación**

El proceso de determinar los recursos y costos necesarios para construir un pavimento se conoce como análisis de costo de pavimentación. El objetivo es estimar el monto total de inversión necesario para completar el proyecto (Vargas y Arias, 2022).

#### **2.2.19. Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos**

Se refiere al proceso de restauración o mejora de la superficie de un pavimento existente para prolongar su vida útil y mejorar su funcionalidad. Estas técnicas varían según el tipo de pavimento y el estado de deterioro (Baque, 2019).

### **2.3. Marco Legal:**

#### **2.3.1 Ley Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre**

##### **Capítulo II**

##### **Clasificación de las vías**

**Art. 3.- Vías Terrestres.** Las vías son las estructuras de diferentes tipos construidas para la movilidad terrestre de los vehículos y constituyen un esencial medio de comunicación que une regiones, provincias, cantones y parroquias de la República del Ecuador,

cuya forma constitutiva contiene la plataforma de circulación que comprende todas las facilidades necesarias para garantizar la adecuada circulación, incluyendo aquella definida como derecho de vía y la señalización. El Reglamento General de esta Ley determinará su clasificación de acuerdo a su tipología, diseño, funcionalidad, dominio y uso.

**Art. 6.-** Red vial regional. Se define como red vial regional, cuya competencia está a cargo de los gobiernos autónomos descentralizados regionales, al conjunto de vías que unen al menos dos capitales de provincia dentro de una región y que sean descentralizadas de la red vial estatal.

**Art. 13.-** Proyectos. La infraestructura del transporte terrestre se desarrollará a través de la elaboración de proyectos integrales, que contendrán la documentación necesaria para hacer factible su ejecución, de conformidad con la ley, reglamentos y demás normas vigentes. En caso de tener incidencia en la red vial estatal, el ministerio rector revisará y aprobará la prefactibilidad y factibilidad.

Todos los proyectos de infraestructura vial, sean nuevos o que supongan la intervención o modificación de anteriores, deberán incluir los estudios de impacto ambiental, social y de seguridad vial de acuerdo con la normativa aplicable para el efecto emitida por la autoridad competente. Se considerarán además las afectaciones sobre el hábitat construido a los predios y las medidas necesarias para compensar a los propietarios de los mismos. Obras públicas, (2017)

### **2.3.2. Ley Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre**

#### **Capitulo IV**

## **Derecho de Vía**

**Art. 19.-** Derecho de Vía. Es la faja de terreno permanente y obligatoria destinada a la construcción, mantenimiento, servicios de seguridad, servicios complementarios, desarrollo paisajístico y futuras ampliaciones de las vías, determinada por la autoridad competente. Los terrenos ubicados dentro del derecho de vía constituyen bienes de dominio público y la autoridad competente tendrá la facultad de uso y goce en cualquier tiempo. En el caso que estos predios sean de propiedad de terceros, la autoridad competente aplicará el procedimiento expropiatorio regulado en la ley de la materia (Obras públicas, 2017).

### **2.3.3. NEVI – 12 – MTOP VOLUMEN 1**

## **CAPITULO 1.200 INTRODUCCIÓN A LOS PROYECTOS VIALES**

### **SECCIÓN 1.202 CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS**

Las carreteras del siglo 21 deben tener más en cuenta el aspecto funcional de las carreteras. En cuanto a su uso, proceso que dará lugar a vías más seguras, más económicas, eficientes, confiables e inteligentes. Además, se debe proporcionar usos innovadores. En lo que se refiere a las demandas existentes y futuras sobre los nuevos desafíos globales. Basado en los requerimientos futuros y los nuevos desafíos, se han establecido prioridades temáticas sobre la base de una evaluación integral que se resume en los siguientes puntos:

#### **SECCION 1.202.1 CARRETERAS SEGURAS Y CONFIABLES**

El objetivo central es permitir un transporte seguro, eficiente, predecible y confiable de personas y mercancías sobre distancias cortas y largas. A fin de lograr esto, la gestión de las obras viales, la interrupción, la seguridad y el mantenimiento son mejorados, particularmente con

respecto a los elementos de red más importantes (nodos, puentes y túneles). La información de los vehículos es integrada con la información de las carreteras y los sistemas gestión, la comunicación para interactuar con los sistemas de seguridad. Por lo tanto, la gestión eficaz del tráfico se hace posible para satisfacer las necesidades de información de cada usuario de la vía.

### **SECCIÓN 1.202.2 CARRETERAS INTELIGENTES**

El fin es permitir la gestión del tráfico y el mantenimiento de carreteras para tomar mejores decisiones operacionales y estratégicas. Para lograr este objetivo, el continuo monitoreo del estado de las carreteras y estructuras, del tráfico y la seguridad vial, así como la tecnología de sensores requerida están más desarrolladas e integradas. Todos los subsistemas, es decir materiales, construcción, información, capacidad vial, dispositivos de control de y de tránsito y comunicación, han de ser integrados en un sistema global.

### **SECCION 1.202.5 CARRETERAS COMO PARTE DEL MEDIO AMBIENTE**

La carretera es parte de nuestro espacio y una base esencial de la vida cotidiana. Al mismo tiempo, los impactos negativos del tráfico se deben reducir al mínimo, especialmente en áreas urbanas. Los usuarios vulnerables, como los peatones y los ciclistas, así como personas con movilidad reducida necesitan estar protegidos para que puedan movilizarse de una manera segura. A través de esto, los efectos de las carreteras en la calidad de la vida humana, así como sobre la naturaleza y el medio ambiente deberán ser considerados en la planificación de las redes viales y de las rutas de transporte.

#### **2.3.4. NEVI – 12 – MTOP VOLUMEN 2A – B**

## **SECCION 2A.102 ORGANIZACIÓN Y CONTENIDO DEL VOLUMEN**

El volumen tiene una organización que partiendo de un marco teórico consistente para estudios viales, posibilita desarrollar primero, los estudios viales básicos congruentes con la investigación de los parámetros locales de geodésica y topográfica, complementados con estudios de: geología, geotecnia, geofísica, riesgo sísmico e hidráulica, para servir de soporte en los diseños preliminares del trazado geométrico y posteriormente completar con estudios de tránsito y ambientales que justifiquen plenamente la bondad y la eficiencia de las rutas planteadas en el estudio.

## **SECCIÓN 2A.104 SISTEMA DE UNIDADES**

### **2A.104.1 ASPECTOS GENERALES**

En los Numerales que se desarrollan a continuación se presenta un resumen de la NTE INEN 0001:90 3R denominada “Sistema Internacional de Unidades”.

Esta Norma es una homologación de la Norma ISO 1000 siendo idéntica a la misma. El Anexo A forma parte del cuerpo de la norma. El Anexo B no forma parte de la norma, se inserta a título informativo. El resumen que aquí se presenta contiene citas textuales de aquellos aspectos de la Norma que dicen relación con las unidades de uso habitual en el Del NEVI-12.

### **2A.104.2 OBLIGATORIEDAD DEL EMPLEO DE LA NORMA**

Los proyectos de carreteras y caminos de la Dirección de Vialidad se ajustarán al contenido de esta norma, por lo tanto, las unidades básicas, unidades derivadas y unidades suplementarias se usarán respetando el nombre y símbolo de cada una de ellas (MTOP,

2013).

## **2.3.5. NEVI – 12 – MTOP VOLUMEN N°4 ESTUDIOS Y CRITERIOS AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS VIALES**

### **SECCIÓN 4.104 CONSIDERACIONES AMBIENTALES DEL MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS**

#### **4.104.1 Marco General**

El Desarrollo Sustentable es un desafío de la sociedad en su conjunto y es un objetivo general del Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador. Los proyectos de inversión en obras de infraestructura deberán concebirse de modo de maximizar los beneficios ambientales y minimizar los costos ambientales, evitando comprometer la capacidad de renovación de los recursos naturales, así como la calidad natural del aire, del agua y de los suelos. En este sentido, tanto los fundamentos como los objetivos de la gestión ambiental del Ministerio de Transporte y Obras Públicas están estrechamente relacionados con las Políticas de la Autoridad Ambiental Nacional, en estricta coordinación con el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, como autoridad competente en la ejecución de proyectos viales.

#### **4.104.2 Fundamentos**

Los fundamentos de la Gestión Ambiental en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas son los siguientes:

Calidad de vida de las personas: Se deberá favorecer el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del Ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras.

Complementariedad entre el desarrollo socioeconómico y la sustentabilidad ambiental: Se deberá facilitar que se salvaguarde la disponibilidad en cantidad y calidad de los recursos naturales, favoreciendo su uso racional de modo de potenciar el desarrollo.

La determinación del sentido y alcance de los proyectos viales y de infraestructura del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, se deberá definir, en forma temprana, los por qué y los para qué de los mismos, así como de la necesaria complementariedad entre desarrollo y Ambiente

Equidad Social y superación de la pobreza: Se deberá asegurar la igualdad de oportunidades en el acceso a los beneficios del desarrollo y a una calidad de vida mejor. Es imperativo atender las necesidades básicas de los sectores más pobres de la población, a fin de generar las condiciones que permitan mejorar su calidad de vida (MTOPE, 2013).

Este capítulo se presentan diversos aspectos los cuales conforman en su conjunto el marco legal mínimo desde un punto de vista ambiental, que se deberá tener en cuenta en la planificación, estudio, diseño, construcción, mantenimiento y operación de proyectos viales, ya sea en carreteras o caminos, existentes o nuevo. Con el fin de situar el ámbito ambiental nacional se presenta una breve reseña histórica de la evolución de la gestión ambiental en el Ecuador

### **2.3.6. NEVI – 12 – MTOPE VOLUMEN 5 VOLUMEN 5 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN Y SEGURIDAD VIAL**

#### **SECCION 5.103 MANTENIMIENTO, OPERACIÓN Y SEGURIDAD VIAL**

##### **5.103.1 CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL**

En general el concepto de la Seguridad Vial no ha sido incluido en el diseño de las rutas viales del país. Sin embargo, con el presente volumen, se pretende que se haga estos análisis de una manera más sistematizada, coordinada y planificada.

La Seguridad Vial puede ser definida como el atributo intrínseco de la vía que aporta a garantizar el respeto a la integridad física de sus usuarios y de los bienes materiales aledaños a ella. Se debe tener presente en el diseño, construcción, mantenimiento y operación de una obra vial.

### **5.103.2 IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD VIAL**

Teniendo presente los altos costos sociales y económicos producidos por los accidentes de tránsito en el país, se hace necesario entender que el concepto de Seguridad Vial debería estar en toda consideración relativa a la ingeniería vial. Esto dado que la vida humana e integridad física de los usuarios de los caminos o carreteras, debieran ser resguardadas más allá de cualquier otro aspecto, pudiendo ser éstos económicos, ambientales u otros.

Es importante sensibilizar a los usuarios de las vías respecto a que la Seguridad Vial es un concepto que abarca más que el diseño e instalación de señalización de tránsito o los sistemas de contención. Este concepto debe ser incorporado desde los primeros niveles de estudio del proyecto vial, con el fin de no incurrir en costos en medidas de mitigación que pudieren ser más altos; por ejemplo, el costo de optimizar el trazado de un proyecto de nuevo trazado. Esto resulta especialmente importante en el Ecuador, donde existe un importante número de accidentes y costos asociados a ellos.

### **5.103.4 ANTECEDENTES DE SEGURIDAD EN EL ECUADOR**

Respecto a la realidad nacional, numerosas actividades se han

desarrollado con el fin de, por una parte, incluir mediante normas el concepto de Seguridad Vial, y por otra, sensibilizar a las personas respecto de la importancia que tiene para la sociedad el preocuparse de este tema. En el Ecuador la tasa media anual es de 15 decesos por cada 100000 habitantes lo que constituye una de las tasas de mortalidad más altas de América Latina. Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013)

El volumen 5 de la Norma Ecuatoriana Vial. NEVI – 12, contiene as especificaciones técnicas aplicables a los procedimientos para la operación y seguridad vial, bajo los principios de equidad o trato nacional, equivalencia, participación, excelencia, sostenibilidad ambiental y competitividad sistémica, que hacen posible la seguridad peatonal de los usuarios y de los conductores en los caminos, pasarelas y puentes de la red vial.

#### **2.3.7. ASSHTO T321 -17**

##### **DETERMINACION DE LA VIDA DE FATIGA COMPACTADO MEZCLAS DE ASFALTO SUJETAS A REPETIDOS**

Esta norma proporciona procedimientos para determinar la vida útil de la fatiga y la energía de fatiga de 380 mm de largo por 50 mm de espesor por 63 mm de ancho, muestras de vigas de mezcla de asfalto aserradas a partir de mezclas de asfalto compactadas en el laboratorio o en el campo y sometidas a una flexión de flexión repetida hasta el fallo (ASSTHO, 2017).

#### **2.3.8. EN 12697- 24**

Esta norma europea especifica los métodos para caracterizar la fatiga de las mezclas bituminosas mediante ensayos alternativos, incluyendo ensayos de flexión y ensayos de tracción directa o indirecta. Los ensayos se realizan sobre material bituminoso compactado, mediante la aplicación de una carga sinusoidal u otra carga controlada, utilizando diferentes tipos de probetas y soportes (UNEN, 2019).

## **2.3.9. AASHTO T 341 – 11**

### **1.- ALCANCE**

Este método de prueba cubre los procedimientos para preparar y probar el asfalto de mezcla caliente (HMA) para determinar el módulo dinámico y el ángulo de fase en un rango de temperaturas y frecuencias de carga. Esta norma es aplicable a las mezclas preparadas en laboratorio de mezclas con un agregado de tamaño máximo nominal inferior o igual a 37,5 mm (1,48 pulgadas).

Esta norma puede involucrar material, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no pretende abordar todas las preocupaciones de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer prácticas adecuadas de salud y bienestar y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

### **4.- MÉTODO**

Se aplica una tensión de compresión axial sinusoidal (haversine) a una muestra de hormigón asfáltico a una temperatura y frecuencia de carga dadas. La tensión aplicada y la respuesta de tensión axial recuperable resultante de la muestra se miden y se utilizan para calcular el módulo de dinámica y el ángulo de fase.

Los valores dinámicos del módulo medidos en un rango de temperaturas y frecuencias de carga se pueden cambiar a una curva maestra para caracterizar el hormigón asfáltico para el diseño del espesor del pavimento y el análisis del rendimiento. Sistema de prueba de módulo dinámico Un sistema de prueba de módulo

dinámico que consiste en una máquina de prueba, una cámara ambiental y un sistema de medición (ASSHTO T341-11, 2015).

## **6.- APARATO**

Máquina de prueba Una máquina de prueba de servohidráulica capaz de producir una carga de compresión controlada. La máquina de prueba debe tener la capacidad de aplicar carga en un rango de frecuencias de 0,1 a 25 Hz y un nivel de tensión de hasta 2800 kPa (400 ps), para cargas sinusoidales. El error estándar de la carga aplicada debe ser inferior al 3 por ciento. El error estándar de la carga aplicada es una medida de la diferencia entre los datos de carga medidos y el senoide mejor apto. El error estándar de la carga se describe en la Licuación I.

### **2.3.10. INV E-748-1**

## **DETERMINACIÓN DE LAS LEYES DE FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EN CALIENTE SOMETIDAS A FLEXIÓN DINÁMICA**

### **1.- OBJETO**

**1.1** Esta norma entrega los procedimientos para la determinación de las leyes de fatiga y energía de muestras de mezclas asfálticas en caliente, compactadas en laboratorio o tomadas directamente del terreno, sometidas a flexión dinámica hasta llevarlas a la falla.

**1.2** Los especímenes para el ensayo deben tener una longitud de 380 mm, un ancho de 63 mm y una altura de 50 mm.

### **3.- IMPORTANCIA Y USO**

**3.1** Las leyes de fatiga y energía determinadas por esta norma se

pueden usar para determinar las leyes de fatigas de capas de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, bajo la acción de las cargas repetidas del tránsito. El comportamiento en servicio de las mezclas asfálticas se puede predecir con mayor exactitud cuándo se conocen estas leyes.

#### **4.- EQUIPO**

4.1 Sistema de ensayo – El sistema debe contener un mecanismo de carga axial, una cámara ambiental (opcional) y un sistema de control y de adquisición de datos.

El sistema de ensayo debe incluir un componente de carga de cadena cerrada controlado por computador, el cual ajusta y aplica una carga tal, que el espécimen experimenta un nivel constante de deformación durante cada ciclo de carga, en respuesta a los comandos del componente de control y medición. Este dispositivo debe ser capaz de (1) producir cargas repetidas de forma sinusoidal en un rango de frecuencia de 5 a 10 Hz, (2) asegurar el espécimen en cuatro puntos de forma que se permita en ellos libertad de rotación y de desplazamiento horizontal, tanto para los puntos de aplicación de las cargas como en los puntos de apoyo o reacción, y (3) forzar el regreso del espécimen a su posición original (deflexión cero) al finalizar el pulso de carga (INV E-748-13, 2013).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

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

Se aplicó un enfoque mixto debido a que se combinan una recolección de datos de estudios previos referentes al tema de no más de 5 años de antigüedad lo cual aporta tanto cuantitativamente y cualitativamente, por ende nos genera valores numéricos como en el desempeño y el impacto ambiental que el mismo brinda, de la cual nos ayuda a la mejora de conceptos y conocimientos sobre el objeto de estudio, en este caso mediante un análisis comparativo del desempeño de pavimentos donde se implantara la innovación del RAP y otros instrumentos utilizados.

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

El alcance de esta investigación es realizar un análisis descriptivo y un procesamiento comparativo a través de una exhaustiva revisión bibliográfica, centrándose en evaluar el desempeño de los pavimentos flexibles tradicionales y los pavimentos flexibles que incorporan material reciclado de pavimentos asfálticos (RAP) en América durante los últimos 5 años. Se identificarán y describirán los factores clave reportados en la literatura que influyen en el rendimiento óptimo de los pavimentos flexibles con RAP. El estudio evaluará variables como la deformación máxima y mínima, el desempeño, el tiempo de vida útil, el mantenimiento requerido y los costos asociados a estos tipos de estructuras. El procedimiento involucrará una revisión sistemática de los antecedentes y referencias utilizadas, junto con el procesamiento de datos mediante tabulación y análisis estadístico y econométrico. Esto permitirá comparar cuantitativa y cualitativamente el desempeño y el porcentaje de mejora de los pavimentos tradicionales frente a los que incorporan RAP durante el

período de estudio.

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

#### **3.3.1. Técnica**

##### **3.3.1.1.Revisión sistemática de literatura**

La revisión sistemática de literatura es una técnica para recopilar, analizar y sintetizar la información existente sobre el desempeño de pavimentos flexibles tradicionales y pavimentos flexibles con RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado) en América. Esta técnica implica realizar una búsqueda exhaustiva y sistemática en bases de datos relevantes, utilizando términos de búsqueda específicos y criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Posteriormente, se evaluará la calidad de los estudios identificados y se extraerán los datos relevantes de manera objetiva y reproducible. Finalmente, se realizará un análisis crítico y una síntesis de los resultados obtenidos, lo que permitirá identificar vacíos en el conocimiento, tendencias emergentes y áreas de investigación futura en el tema abordado.

##### **3.3.1.2. Procesamiento de datos**

El procesamiento de datos es una técnica fundamental para el análisis del desempeño de pavimentos flexibles tradicionales y pavimentos flexibles con RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado) en América. Esta técnica implica la recopilación para obtener información relevante de diversas fuentes, lo que implica la clasificación de la información, con el fin de garantizar la fiabilidad de la información asegurando que los datos no afecten la validez del análisis.

### **3.3.1.2.1. Clasificación de la información:**

La información se verá clasificada basada en los siguientes datos relevantes obtenidas de las fuentes seleccionadas:

- Documentos existentes con relación a los últimos 5 años de antigüedad sobre pavimentos flexibles tradicionales y los que incorporan RAP.
- Informes científicos sobre de fatiga en pavimentos.
- Ensayos de laboratorios en donde se utilizará como referencias de ensayo de flexión en cuatro puntos realizado a nivel de las regiones de América.

Esto incluye que sea de los últimos 5 años para facilitar las comparaciones entre distintas fuentes de los datos obtenidos a través de ensayos de laboratorio, registros históricos, fuentes bibliográficas y bases de datos existentes a lo largo de las distintas regiones.

- Revistas (5 – 6 referencias).
- ensayo de laboratorio de alto impacto.

Posteriormente, se aplicarán métodos estadísticos y técnicas de análisis de datos, para extraer información valiosa. El procesamiento de datos permitirá identificar factores clave que influyen en el desempeño de los pavimentos, evaluar su comportamiento a lo largo del tiempo y establecer relaciones entre las variables relevantes.

### **3.3.1.2.2. Métodos estadísticos**

Estadística descriptiva e inferencial para poder resumir la información receptada y presentar las comparaciones sobre ambos tipos de pavimentos.

## **3.3.2. Instrumento**

### **3.3.2.1. Bibliotecas digitales**

Para llevar a cabo la revisión sistemática de literatura en esta tesis, se utilizarán diversos instrumentos que facilitarán la búsqueda bibliográfica y la

organización de la información recopilada. se explorarán repositorios institucionales y bibliotecas digitales de universidades y centros de investigación reconocidos en el área de pavimentos y materiales de construcción. Estas fuentes proporcionarán acceso a artículos científicos, tesis, informes técnicos y otros documentos relevantes.

Por otro lado, se emplearán matrices o tablas comparativas como herramientas organizativas. Estas tablas permitirán clasificar y sintetizar la información recopilada de manera sistemática, facilitando la comparación de diferentes aspectos como propiedades mecánicas, desempeño a largo plazo, costos, impacto ambiental, entre otros. Las matrices comparativas serán diseñadas cuidadosamente para capturar los detalles más relevantes de cada estudio y permitir un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos.

#### **3.3.2.2. Excel**

Excel es una herramienta versátil y ampliamente utilizada para el procesamiento de datos en el análisis del desempeño de pavimentos flexibles tradicionales y pavimentos flexibles con RAP. Este programa de hoja de cálculo permite almacenar, organizar y manipular grandes cantidades de datos de manera eficiente. Además, cuenta con diversas funciones y herramientas avanzadas, como gráficos, tablas dinámicas, fórmulas y macros, que facilitan el análisis y la visualización de los datos. Excel también ofrece la posibilidad de integrar complementos y macros personalizadas para realizar cálculos complejos, análisis estadísticos y modelado predictivo.

## **CAPÍTULO IV**

### **PROPUESTA**

#### **4.1. Presentación y análisis de resultados**

La presentación de esta etapa, se exhibirán las curvas de fatiga obtenidas mediante ensayos de flexión en distintos puntos realizados en distintas regiones de América de pavimentos existentes entre los últimos 5 años. Estas curvas se graficarán, mostrando la relación entre la deformación unitaria de tracción y el número de ciclos hasta la falla para ambos tipos de pavimento. Se realizará un análisis de los parámetros comparando las diferencias entre los pavimentos convencionales y los que contienen RAP. Además, para permitir una comparación directa del desempeño, se presentarán gráficos de barras que muestran la vida a fatiga estimada para un nivel de deformación representativo. Se llevará a cabo un análisis estadístico para determinar la importancia de las variaciones observadas, tomando en cuenta la variabilidad presente en las muestras de campo. Este análisis detallado proporcionará pruebas cuantitativas sobre la idoneidad del uso de RAP en varios escenarios, destacando sus ventajas y desventajas en comparación con los pavimentos flexibles convencionales.

#### **4.1.2. Ensayo de viga a flexión en cuatro puntos**

Es una prueba que evalúa la resistencia y rendimiento de la mezcla asfáltica que compone el pavimento. La medición del daño o desgaste generado por la fatiga durante su vida útil, donde se fundamenta en la normativa ASSTHO T321-17. El ensayo simula la carga vehicular sobre la estructura, registrando carga, deflexión y desfase en función del tiempo. Se calcula el módulo complejo. A lo largo del experimento, se registran la fuerza aplicada, lo que permite analizar cómo la fatiga afecta las propiedades de la mezcla.

En este estudio en particular, se mantiene constante la deformación impuesta, mientras que el esfuerzo necesario para producirla disminuye con cada ciclo. Se monitorea la carga aplicada durante todo el proceso. El criterio de falla adoptado establece que la muestra se considera fallida cuando su módulo de rigidez se reduce a la mitad de su valor original. A partir de estos valores podemos estimar la durabilidad de la mezcla bajo condiciones de uso repetido.

El ensayo de fatiga se puede realizar bajo cuatro niveles de deformación diferentes, con parámetros específicos previamente establecidos. Según la normativa establece las relaciones que determina el ensayo:

Tabla 2: Resumen de relaciones mediante normativa ASSHTO T321-17

N°	Nombres	Formulas
1	Deformación máxima de tracción	$\varepsilon_t = \frac{12\delta h}{3L^2 - 4a^2}$
2	Angulo de fase	$\varphi = 360f_s$
3	Esfuerzo máximo de tracción	$\sigma_t = \frac{0,357P}{bh^2}$
4	Rigidez Flexural	$s = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t}$
5	Energía disipada por ciclo	$D = \pi_{\sigma_t \varepsilon_t} \sin(\varphi)$

6	Energía disipada acumulada	$\sum_{i=1}^{i=n} Di$
---	-------------------------------	-----------------------

Nota: se observan el resumen de la relación que arroja en ensayo mediante la normativa AASTHO T21 – 17

Elaborado: Lucin, (2024)

A continuación, se describe cada uno de ellos, según sus datos.

1. Deformación máxima de tracción

$$\varepsilon_t = \frac{12\delta h}{3L^2 - 4a^2}$$

Donde:

$\delta$ = Deflexión máxima al centro de la viga

$L$ = Longitud de la viga entre abrazaderas externas

$a$ = Espacio entre abrazaderas internas

2. Angulo de fase

$$\varphi = 360f_s$$

Donde:

$f$ = Frecuencia

$s$ = Tiempo Transcurrido entre  $P_{max}$  y  $\delta_{max}$

3. Esfuerzo máximo de tracción

$$\sigma_t = \frac{0,357P}{bh^2}$$

Donde:

P= Carga aplicada  
b= Ancho promedio de la probeta  
h= Altura promedio de la probeta

#### 4. Rigidez Flexural

$$s = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t}$$

Donde:

$\sigma_t$ = Esfuerzo máximo de tracción  
 $\varepsilon_t$ = Deformación máxima de tracción

#### 5. Energía disipada por ciclo

$$D = \pi \sigma_t \varepsilon_t \sin(\varphi)$$

Donde:

$\sigma_t$ = Esfuerzo máximo de tracción  
 $\varepsilon_t$ = Deformación máxima de tracción  
 $\varphi$ = Angulo de fase

#### 6. Energía disipada acumulada

$$\sum_{i=1}^{i=n} Di$$

Donde:

$Di$ = Energía disipada en ciclos de carga

Adicionalmente para poder determinar la curva de fatiga, se realiza la siguiente formula:

$$Nf = k_1 \varepsilon^{-k_2}$$

Donde:

Nf= vida de fatiga denominado ciclos

$\varepsilon$ = deformación aplicada

K1 y k2= coeficientes de regresión

## **4.2. Ensayo de flexión en cuatro puntos en pavimentos flexible convencionales**

### **4.2.1. Primer ensayo**

Como primer ensayo se toma un estudio realizado en la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile que investiga el comportamiento a la fatiga de una mezcla asfáltica denominada SMA, elaborada por la empresa Bitumix para ser utilizada en proyectos de mantenimiento vial en autopistas chilenas. El estudio de fatiga busca entender cómo las mezclas asfálticas responden al agrietamiento. Para ello, se necesita como parámetros, el ensayo de flexión en cuatro puntos, que aplica cargas a una viga de asfalto, utilizando ondas de carga sinusoidales para aplicar deformaciones de 250, 400, 500 y 750, la falla se define cuando la rigidez se reduce al 50% de su valor inicial.

Se muestra a continuación Un resumen tabulado de los datos obtenidos en el ensayo, organizados por nivel de deformación y mostrando el número de ciclos requeridos para alcanzar el criterio de falla.

Tabla 3: Resumen de valores del primer ensayo de fatiga

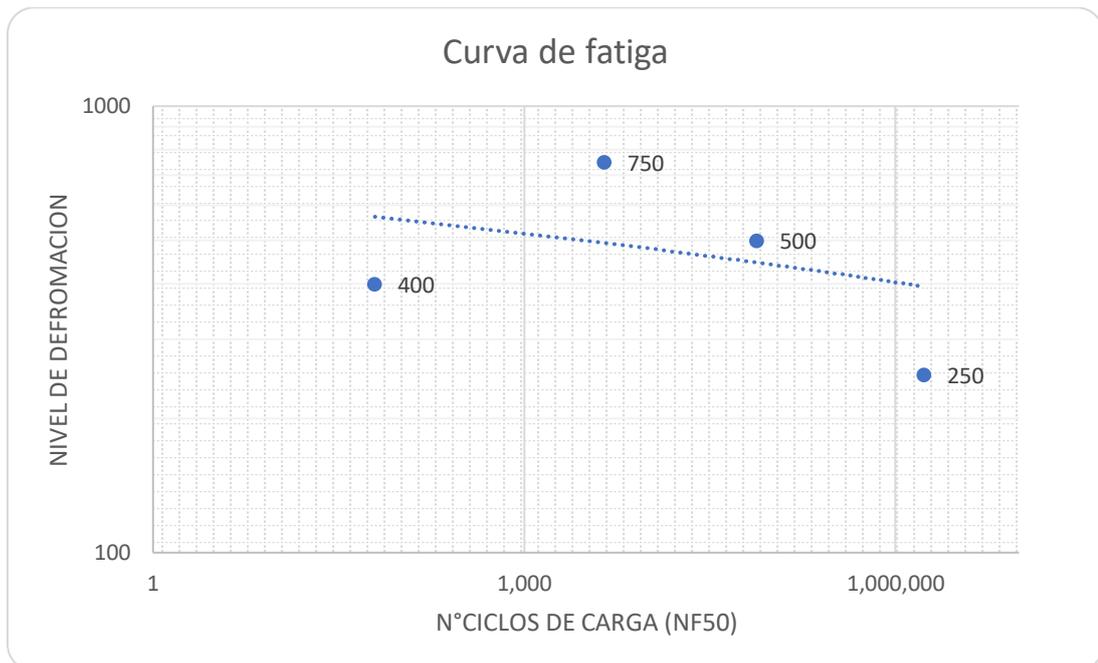
<b>Nombre Pobreta</b>	<b>Nivel de deformación</b>	<b>N° Ciclos de Cargas</b>	<b>Promedio Nf</b>
P7	250	3.102.638	1.714.428
P8		1.042.562	
P9		998.079	
P10	400	56.135	62.198
P11		119.535	
P12		10.924	
P1	500	39.218	75.934
P3		42.109	
P5		146.475	
P2	750	4.479	4.465
P4		4.348	
P6		4.509	

Nota: se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación

Fuente: Rodríguez, (2019)

A partir de los datos obtenidos, se elabora la curva de fatiga para caracterizar el comportamiento de fatiga de la mezcla, estableciendo una correlación entre el nivel de deformación y el número de ciclos de carga hasta la falla, con el fin de evaluar el rendimiento de fatiga de la mezcla analizada.

Figura 4: Curva de fatiga del primer ensayo pavimento flexible tradicional



Nota: se observan los valores que toma la curva con respecto a la mezcla asfáltica tradicional.

Fuente: Rodríguez, (2019)

#### 4.2.2. Segundo ensayo

Como segundo ensayo se toma un estudio realizado en la Universidad Santo Tomas de Colombia que investiga el comportamiento a la fatiga de una mezcla asfáltica convencional con una de grano de caucho reciclado (2020). El proyecto lo que busca es una comparativa entre mezclas convencionales y la que incorporan un grano de caucho reciclado (GCR) para un mejor desarrollo óptimo del proyecto.

Para esta muestra se basó en la recopilación de datos de laboratorios adjuntas por plantas productoras de asfalto por ello se toma la información para tipo MD20 mezclas convencionales

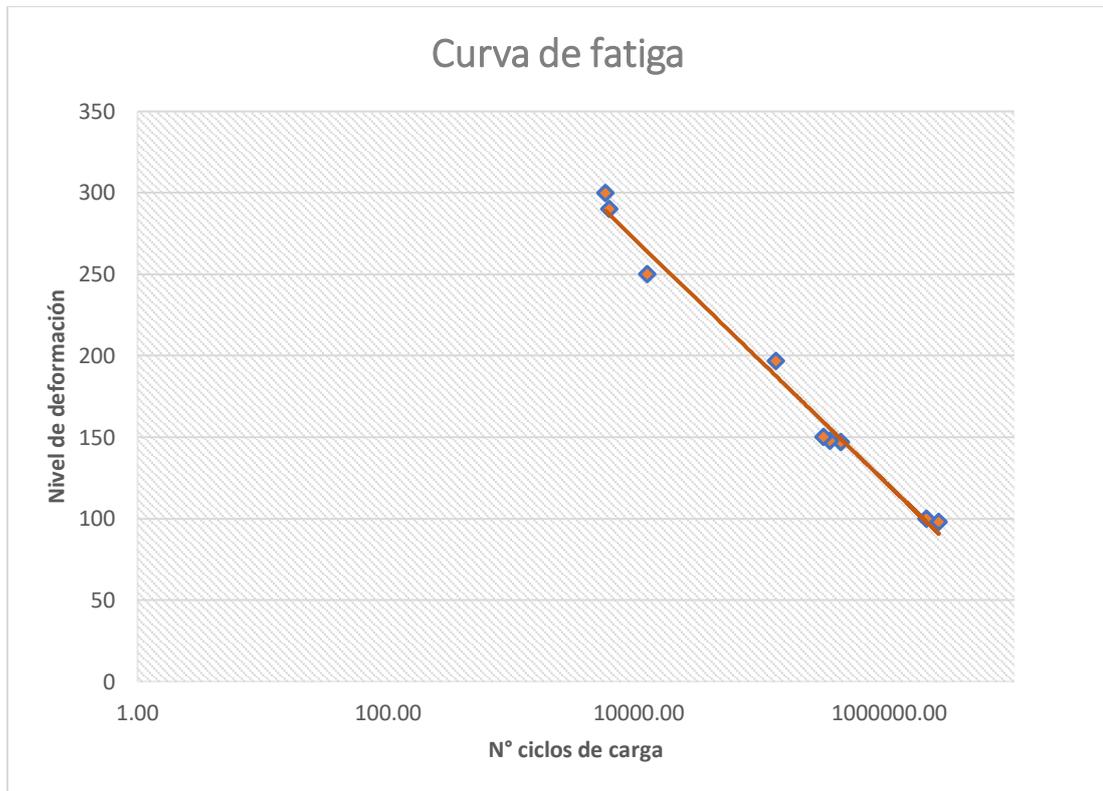
Tabla 4: Resumen de valores de segundo ensayo de fatiga de pavimentos flexibles

Nombre de Probeta	Nivel de deformación	N° ciclos de cargas	Promedio Nf
P1	98	2500000	2500000
P2	100	1980000	1425726
P3		1729781	
P4		567397	
P5	147	414635	414635
P6	148	339209	339209
P7	150	301200	268690
P8		236180	
P9	197	124760	124760
P10	250	11689	11158
P11		11506	
P12		10750	
P13		10687	
P14	290	5830	5830
P15	300	5469	17458
P16		29447	

Nota: se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación.

Fuente: González y Jiménez, (2020)

Figura 5: Curva de fatiga del segundo ensayo de pavimento flexible tradicional



Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a la mezcla asfáltica tradicional.

Elaborado: Lucin, (2024)

#### 4.2.3. Tercer ensayo

Como tercer ensayo se toma un estudio realizado en la Universidad de Costa Rica del año 2021, donde se evidencia la variabilidad en los resultados de ensayos de fatiga de mezclas asfálticas, mediante el análisis de tres mezclas distintas producidas por plantas costarricenses, que fueron sometidas a ensayos de flexión en cuatro puntos.

Se toma parámetros en donde las deformaciones aplicadas fueron de 400 y 600, para las pruebas de fatiga. Posteriormente, se analizaron los resultados para identificar factores en el comportamiento de las mezclas.

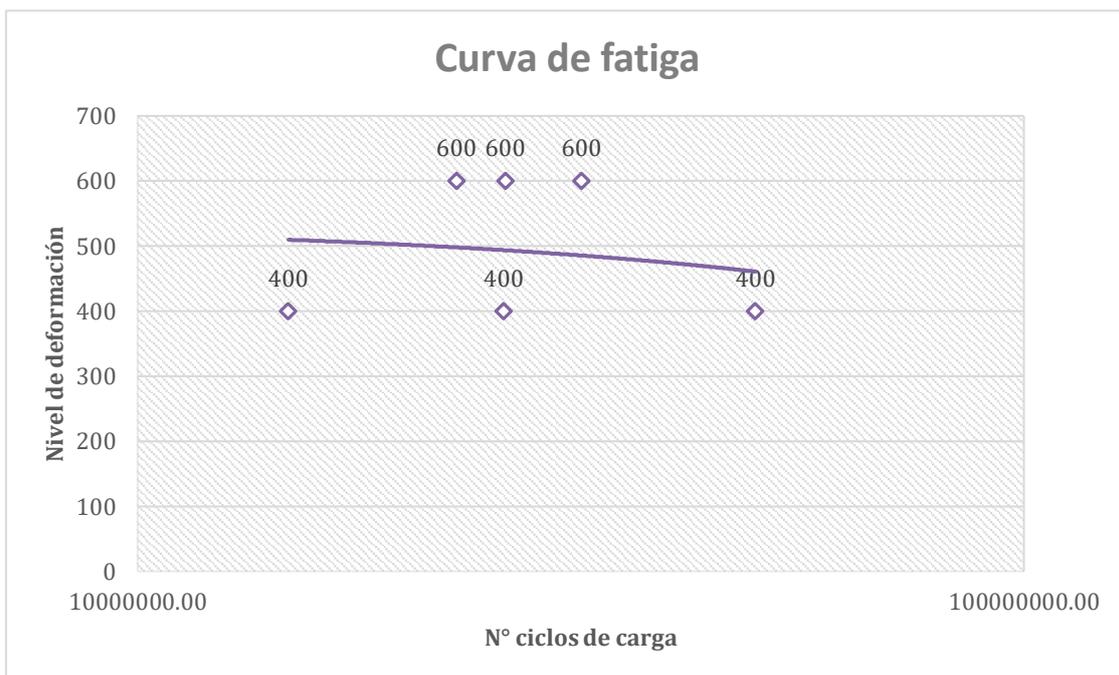
Tabla 5: Resumen de valores de tercer ensayo de fatiga de pavimentos flexibles

Nombre de Probeta	Nivel de deformación	N° ciclos de cargas	Promedio Nf
MEZCLA 1	400	49,8	40,75
	600	31,7	
MEZCLA 2	400	14,8	18,85
	600	22,9	
MEZCLA 3	400	25,6	25,8
	600	26,0	

Nota: Se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación

Fuente: Mora et al., (2021)

Figura 6: Curva de fatiga del tercer ensayo de pavimento flexible tradicional



Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a la mezcla asfáltica tradicional.

Elaborado por: Lucin, (2024)

#### 4.2.4. Cuarto ensayo

Para un cuarto ensayo se toma un estudio denominado Periodo de desempeño de mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para actividades de parcheo en Bogotá D.C. (Abril et al., 2022). En donde se realizan ensayos a tres mezclas asfálticas prefabricadas de la ciudad de Bogotá, sin embargo, como primera muestra no se la consideró ya que presento índice de granulometría abierta, y su suceso se ocupó deformación a 90, 150 y 220 para las siguientes muestras.

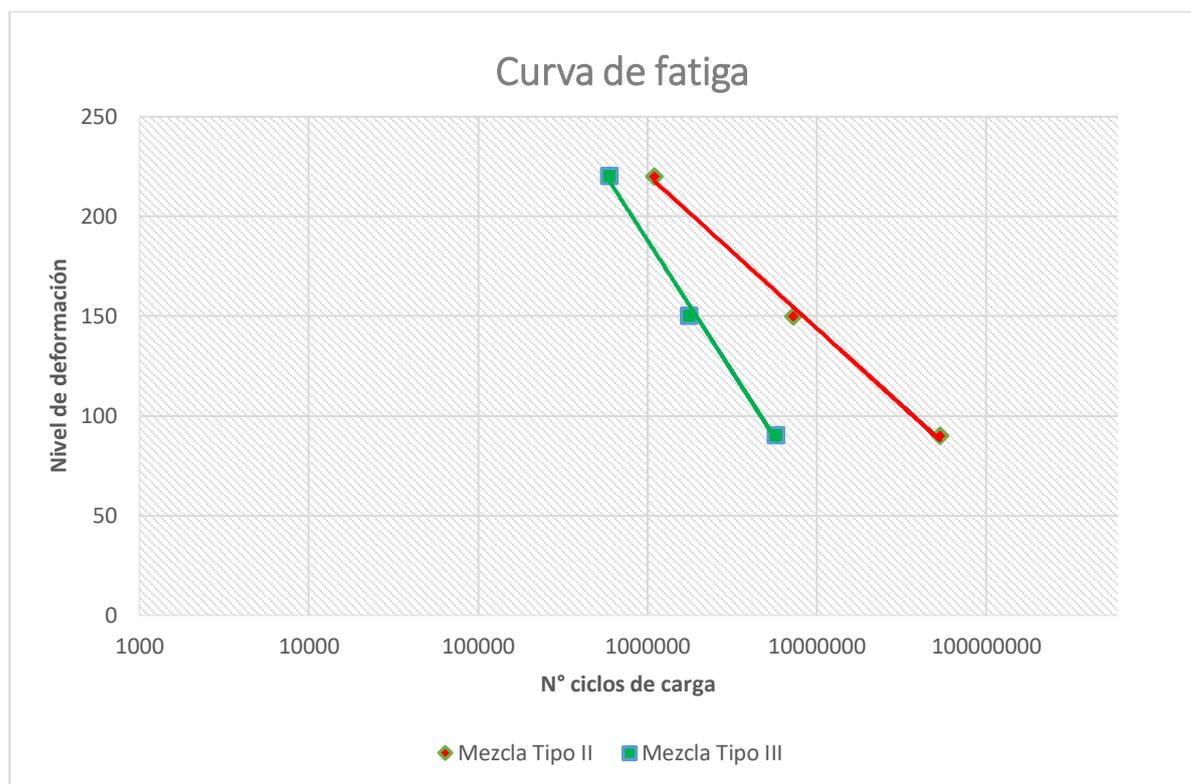
Tabla 6: Resumen de valores de cuarto ensayo de fatiga de pavimentos flexibles

Nombre de Probeta	Nivel de deformación	Nº ciclos de cargas	Promedio Nf
TIPO II	90	53.4	53.4
	150	7.3	7.3
	220	1.1	1.1
TIPO III	90	5.81	5.81
	150	1.78	1.78
	220	0.6	0.6

Nota: Se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación.

Fuente: Abril et al., (2022)

Figura 7: Curva de fatiga del cuarto ensayo de pavimento flexible tradicional



Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a la mezcla Tipo II y Tipo III.

Elaborado: Lucin, (2024)

#### 4.2.5. Quinto ensayo

Como quinto estudio, se realizaron los ensayos por parte de la asociación de asfalto mexicana, para un control estadístico de calidad de ensayo de fatiga, para obtener las referencias en la categoría de mezclas asfálticas Nivel III y Nivel IV. (Pantoja et al., 2023)

La mezcla asfáltica se realizó utilizando un material pétreo tipo basalto de buena calidad con asfalto convencional, como referencia se toma la mezcla de nivel IV, con niveles de deformación de 300, 400, 500, 600 y 700.

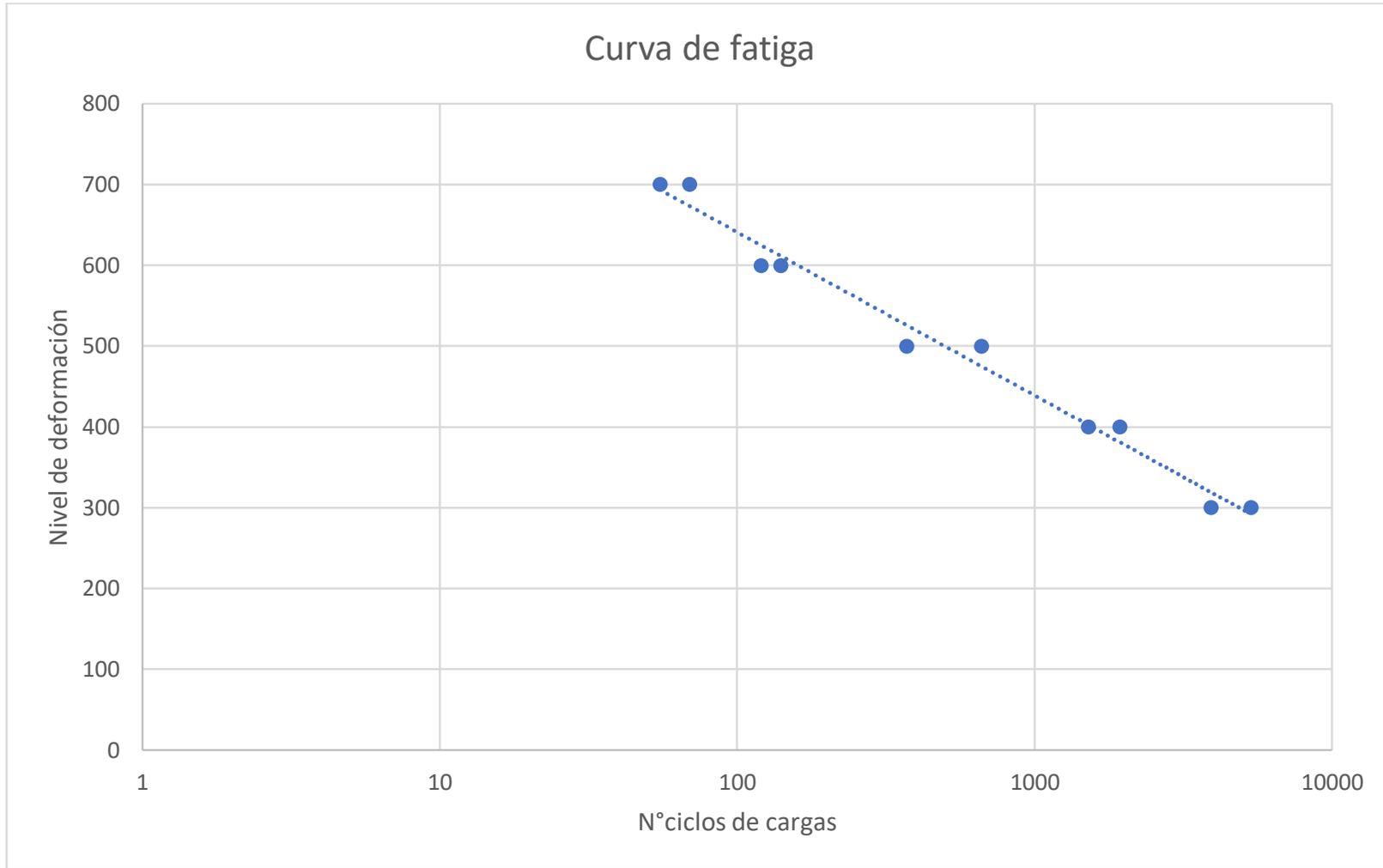
Tabla 7: Resumen de valores de quinto ensayo de pavimentos flexibles

<b>Probeta</b>	<b>Nivel de deformación</b>	<b>N° ciclos de cargas</b>	<b>Promedio Nf</b>
P1	300	3913	3913
P2	400	1930	1930
P3	500	370	370
P4	700	69	69
P5	600	120	120
P6	400	1515	1515
P7	600	140	140
P8	300	5327	5327
P9	700	55	55
P10	500	660	660

Nota: Se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación.

Fuente: Pantoja et al., (2023)

Figura 8: Curva de fatiga del quinto ensayo de pavimento flexible tradicional

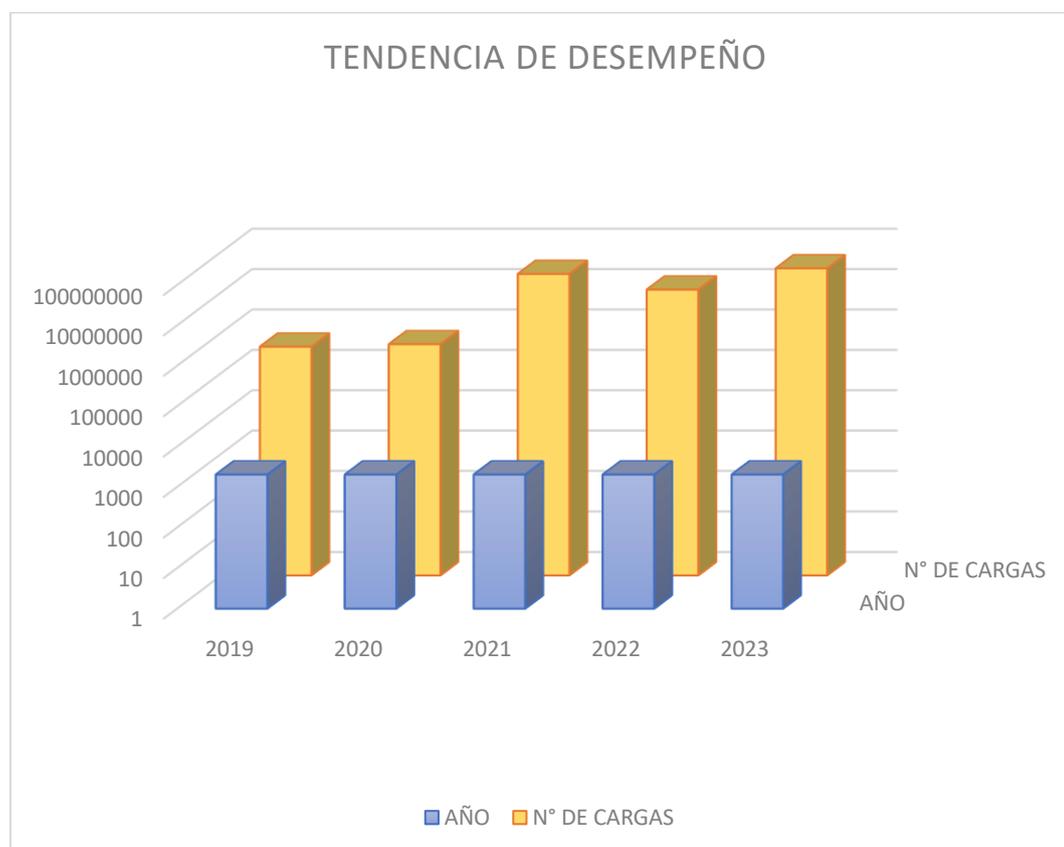


Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a la mezcla asfáltica tradicional.

Elaborado: Lucin, (2024)

### 4.3. Análisis de resultados

Figura 9: Tendencia de desempeño 2019-2023



Nota: Se observan los valores que el gráfico de barras con respecto año y el número de ciclos de carga durante los últimos 5 años.

Elaborado: Lucin, (2024)

En el análisis de los resultados obtenidos, se observa una marcada variabilidad en el desempeño de las mezclas asfálticas a lo largo del período estudiado. El año 2023 se destaca significativamente, exhibiendo un rendimiento superior con aproximadamente 39 millones de ciclos de carga promedio, estableciéndose como el punto de referencia para la evaluación comparativa. En contraste, los años precedentes (2019-2021) muestran un desempeño considerablemente inferior, con valores que oscilan entre 448 mil y 721 mil ciclos.

Es particularmente notable la disminución en el rendimiento observada en 2022, donde los ciclos de carga promedio descendieron a

aproximadamente 100 mil. Este declive pronunciado merece una investigación más profunda para identificar los factores contribuyentes, ya sean cambios en las especificaciones de los materiales, modificaciones en los procedimientos de ensayo, o variables ambientales no consideradas previamente. La tendencia general, caracterizada por un incremento sustancial en 2023 después de varios años de rendimiento relativamente estable seguido de una caída, podría indicar la introducción de innovaciones tecnológicas o mejoras significativas en la composición de las mezclas asfálticas. Este patrón resalta la importancia de continuar investigando y optimizando las propiedades de las mezclas asfálticas para mejorar su durabilidad y resistencia a la fatiga.

#### 4.4. Ciclo de vida por curva de fatiga

Si la probeta se encuentra sometida a ciclos de carga establecidos, por ejemplo, una máquina que opera 1000 ciclos por día, se divide el número de ciclos soportados ( $N$ ) por el número de ciclos diarios para estimar la vida útil. Para este estudio vamos a poner como ejemplo un escenario hipotético común en América.

Si el esfuerzo de trabajo se estima en 150 MPa, y al consultar la curva, se observa que a ese esfuerzo el material puede soportar  $N^\circ$  de ciclos antes de fallar. Si el componente está sometido a 1000 ciclos por día, su vida útil sería de:

$$\text{Vida Útil} = \frac{N}{n} = \frac{500,00 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/días}} = 500 \text{ días}$$

Considerando un factor de seguridad de 2, podrías reducir el esfuerzo de trabajo o esperar que el material soporte solo:

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{500,00 \text{ ciclos}}{2} = 250,00 \text{ ciclos}$$

reduciendo la vida útil esperada a:

$$Vida \text{ Útil con } FS = \frac{N'}{n} = \frac{250,000 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/día}} = 250 \text{ días}$$

#### 4.4.1. Primer ensayo

Tabla 8: Resumen de valores para cálculo de ciclo de vida útil del primer ensayo pavimentos flexibles

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	447606,75	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/día
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 447606,75.  
Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{447606,75 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/días}} = 447,60 \approx 448 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{447606,75 \text{ ciclos}}{2} = 223803,375 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con } FS = \frac{N'}{n} = \frac{223803,375 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/día}} = 223,80 \approx 224 \text{ días}$$

#### 4.4.2. Segundo ensayo

Tabla 9: Resumen de valores para cálculo de ciclo de vida útil del primer ensayo pavimentos flexibles

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	517408,75	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/día
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 517408,75.

Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{517408,75 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/días}} = 517,40 \approx 518 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{517408,75 \text{ ciclos}}{2} = 258704,375 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con FS} = \frac{N'}{n} = \frac{258704,375 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/día}} = 258,70 \approx 259 \text{ días}$$

#### 4.4.3. Tercer ensayo

Tabla 10: Resumen de valores para cálculo de ciclo de vida útil del segundo ensayo pavimentos flexibles

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	28516666,67	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/dia
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 28516666,67  
Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{28516666,67 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/dias}} = 28516,6 \approx 478 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{28516666,67 \text{ ciclos}}{2} = 14258333,33 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con } FS = \frac{N'}{n} = \frac{14258333,33 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/dia}} = 14258,33 \text{ días}$$

#### 4.4.4. Cuarto ensayo

Tabla 11: Resumen de valores de cuarto ensayo de pavimentos flexibles

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	11665000,00	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/dia
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 28516666,67

Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{11665000,00 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/dias}} = 11665 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{11665000,00 \text{ ciclos}}{2} = 5832500 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con FS} = \frac{N'}{n} = \frac{5832500 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/dia}} = 5832,5 \text{ días}$$

#### 4.4.5. Quinto ensayo

Tabla 12: Resumen de los valores de quinto ensayo de pavimentos flexibles

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	1236200,00	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/dia
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 1236200,00

Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{1236200,00 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/dias}} = 1236,2 \approx 1233 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{477606,75 \text{ ciclos}}{2} = 223803,375 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con FS} = \frac{N'}{n} = \frac{223803,375 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/dia}} = 223,80 \approx 234 \text{ días}$$

## **4.5. Ensayos a flexión en cuatro puntos en pavimento asfálticos reciclados**

### **4.5.1. Primer ensayo**

Como primer ensayo de mezclas asfálticas con RAP, se toma el estudio Influencia de la compactación en el desempeño mecánico de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con pavimento asfáltico recuperado (RAP). Ochoa, (2019)

Se analizaron con los datos recopilados resistencia a la fatiga entre los diferentes asfaltos utilizados obteniendo el número de ciclos hasta la falla mediante las leyes de fatiga, considerando deformaciones máximas de 2.5(500) y 5% (100), en los asfaltos, para evaluar la resistencia a la fatiga entre los diferentes asfaltos y su influencia en el desempeño mecánico de las mezclas. Estos criterios corresponden a los niveles de deformación esperados en pavimentos con capas asfálticas de diferentes espesores.

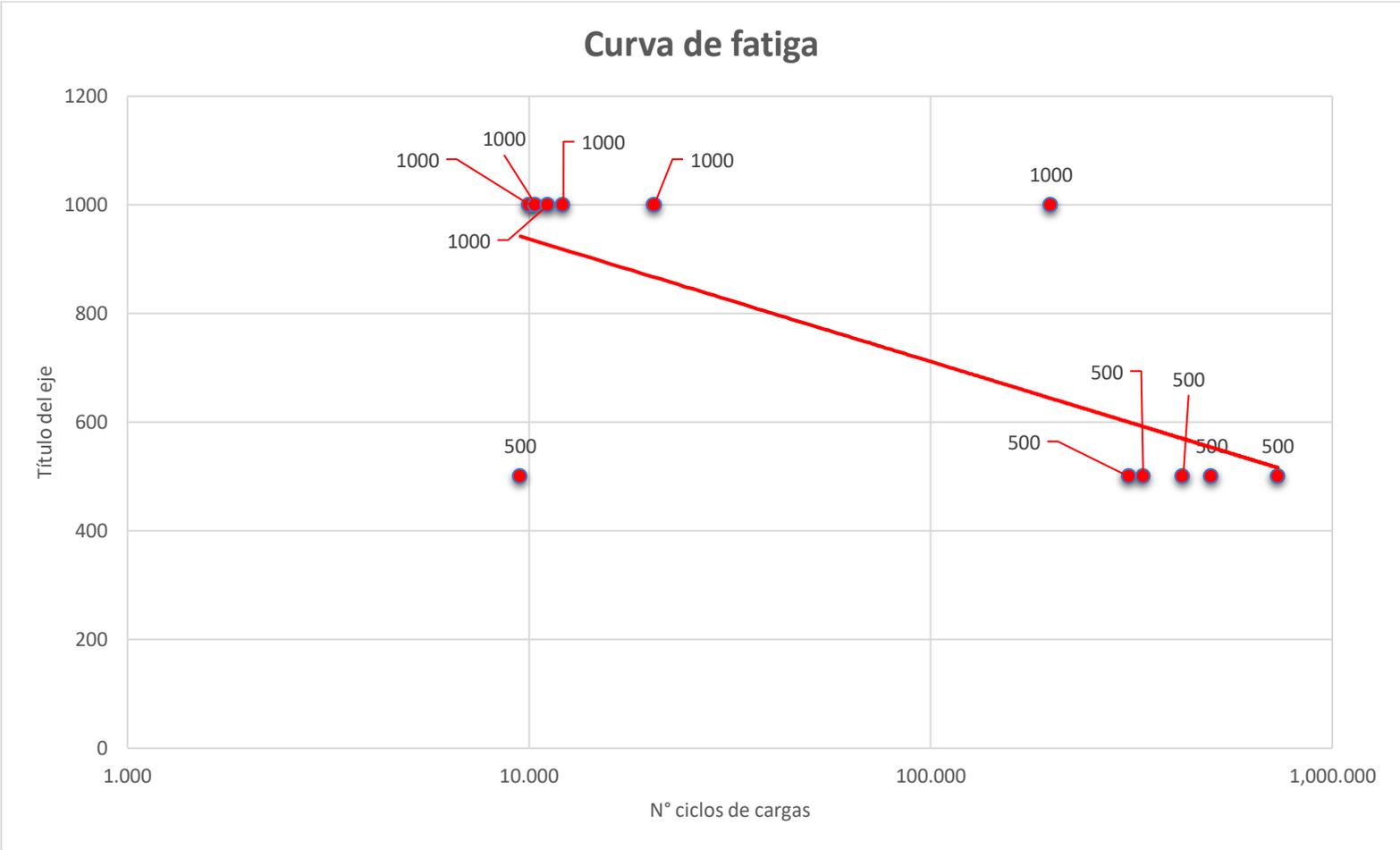
Tabla 13: Resumen de valores de ensayo a fatiga pavimentos flexibles con RAP

Nombre de Probeta	Nivel de deformación	N° ciclos de cargas	Promedio Nf
PG 64-22	500	338,199	174,1195
	1000	10,040	
PG 76-22	500	500,948	255,672
	1000	10,396	
PG 64-28	500	731,942	376,221
	1000	20,5	
PG 58-28	500	425,43	218,803
	1000	12,175	
PG 40-28	500	311,538	161,348
	1000	11,157	
AC RAP	500	9,516	104,258
	1000	199	

Nota: Se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación.

Fuente: Ochoa, (2019)

Figura 10: Curva de fatiga de primer ensayo de pavimento flexible con RAP



Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a las mezclas con porcentajes de RAP.  
Elaborado: Lucin, (2024)

#### 4.5.2. Segundo ensayo

El presente trabajo propone una metodología de diseño para mezclas recicladas en frío con emulsión, con el objetivo de abordar los desafíos asociados con el uso de altos contenidos de RAP (entre 25 y 100%) en mezclas asfálticas

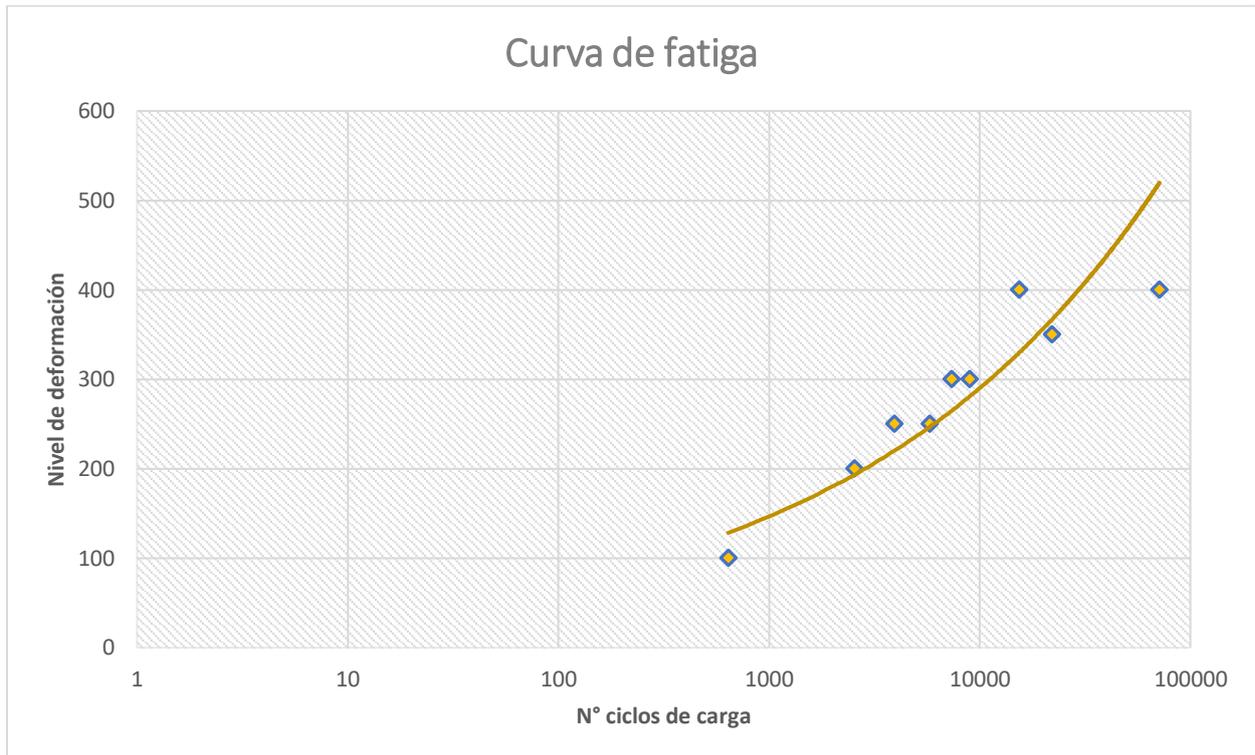
Tabla 14: Resumen de valores de ensayo de fatiga pavimentos flexibles con RAP

Nombre de Probeta	Nivel de deformación	N° ciclos de cargas	Promedio Nf
C0E2	200	2540	2540
C0E3	250	3940	3940
C0E4	300	7373	7373
C1E2	100	640	640
C1E3	250	5787	5787
C1E4	400	15440	15440
C2E2	300	8947	8947
C2E3	350	21980	21980
C2E4	400	71327	71327

Nota: Se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación.

Fuente: Flores et al., (2020)

Figura 11: Curva de fatiga del segundo ensayo de pavimento flexible con RAP



Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a las mezclas con porcentajes de RAP.

Elaborado: Lucin, (2024)

#### 4.5.3. Tercer ensayo

Como tercer ensayo, se recolectaron datos experimentales a través de ensayos de fatiga, evaluando de manera cualitativa la relación entre los ciclos hasta la falla por fatiga y las deformaciones de  $400 \mu\epsilon$  y  $600 \mu\epsilon$ , con el objetivo de analizar y comprender el comportamiento de las mezclas asfálticas sometidas a cargas cíclicas

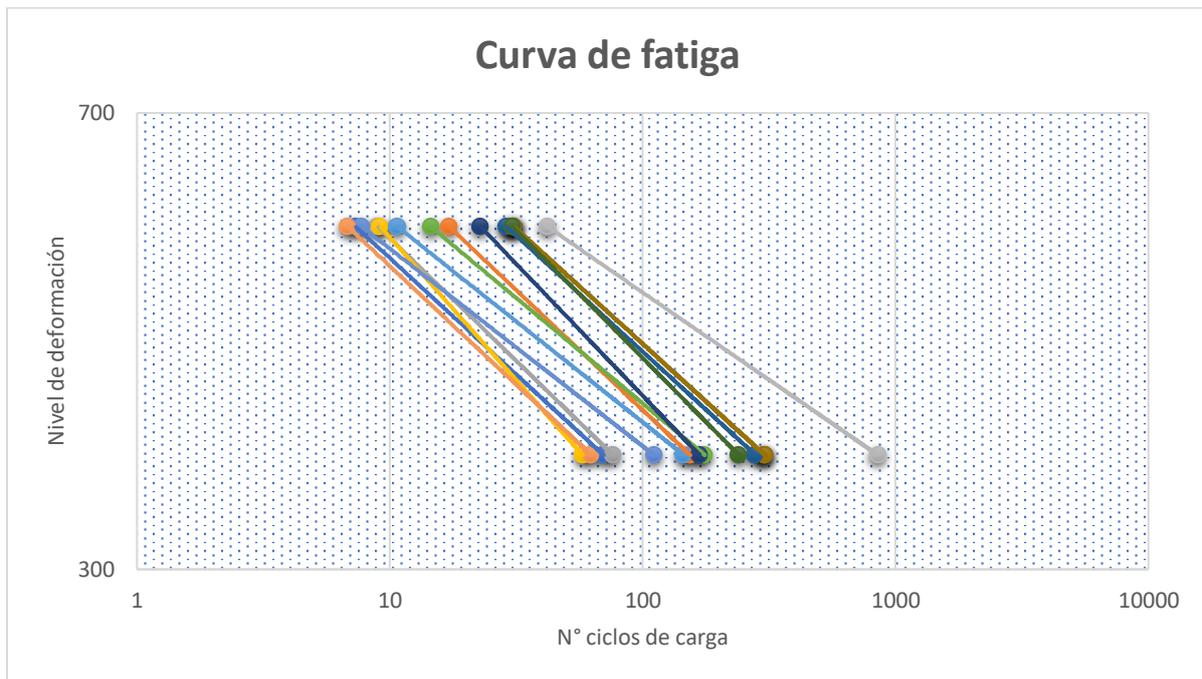
Tabla 15: Resumen de valores de ensayo de fatiga de terceros pavimentos flexibles con RAP

Nombre de Probeta	Nivel de deformación	Nº ciclos de cargas	Promedio Nf
2312-19	400	70,145	38,7465
	600	7,348	
2194-19	400	154,428	85,834
	600	17,240	
2199-19	400	76,478	42,748
	600	9,018	
2225-19	400	57,908	33,5515
	600	9,195	
0050-20	400	145,780	78,2615
	600	10,743	
0448-20	400	176,123	95,348
	600	14,573	
Mezcla Tipo 1	400	167,997	95,4505
	600	22,904	
0973-20	400	304,420	167,7565
	600	31,093	
0975-20	400	304,420	167,7565
	600	31,093	
0977-20	400	304,420	167,7565
	600	31,093	
Mezcla Tipo 2	400	279,695	154,346
	600	28,997	
0040-20	400	240,333	135,5
	600	30,667	
0454-20	400	111,078	59,424
	600	7,770	
0508-20	400	62,753	34,7955
	600	6,838	
Mezcla Tipo 3	400	852,77	447,518
	600	42,266	

Nota: Se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación.

Fuente: Conejo, (2021)

Figura 12: Curva de fatiga del tercer ensayo de pavimento flexible con RAP



Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a las mezclas con porcentajes de RAP.

Elaborado: Lucin, (2024)

#### 4.5.4. Cuarto Ensayo

Como cuarto ensayo, se realizaron ensayos de resistencia a la fatiga por flexo-tracción en viga de 4 puntos para evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas sometidas a cargas cíclicas, aplicando deformaciones de 400 y 600, registrando los ciclos de carga hasta la falla

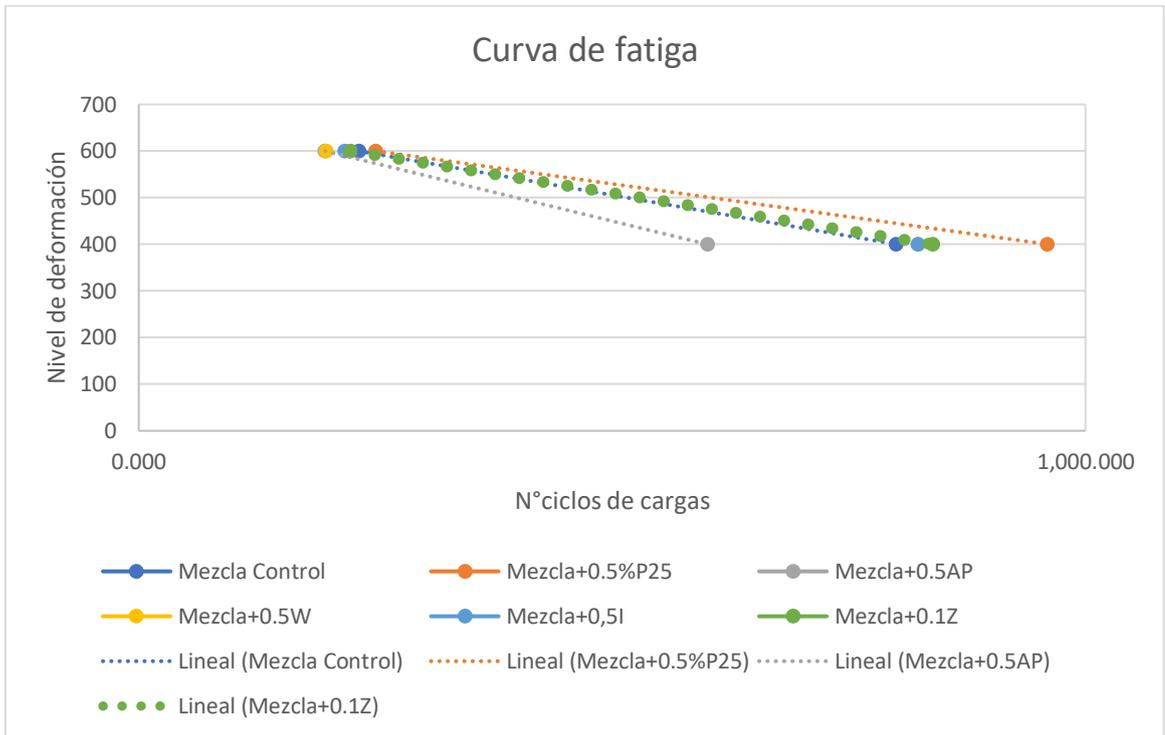
Tabla 16: Resumen de valores de cuarto ensayo de fatiga pavimentos flexibles con RAP

Nombre de Probeta	Nivel de deformación	Nº ciclos de cargas	Promedio Nf
Mezcla control	400	799,494	799,494
		800,586	
	600	241,231	232,265
		223,299	
Mezcla + 0.5%P25	400	954,202	959,506
		965,010	
	600	245,005	250,342
		255,679	
Mezcla + 0,5AP	400	601,419	600,720
		600,021	
	600	203,651	196,878
		190,105	
Mezcla + 0.5%W	400	815,405	823,313
		831,221	
	600	195,121	197,603
		200,085	
Mezcla +0,5%I	400	831,762	823,393
		815,023	
	600	211,077	217,626
		224,175	
Mezcla + 0.1%Z	400	853,421	838,361
		823,421	
	600	212,259	223,672
		235,085	

Nota: Se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación

Fuente: Estrada, (2022)

Figura 13: Curva de fatiga de cuarto ensayo de pavimento flexible con RAP



Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a las mezclas con porcentajes de RAP

Elaborado: Lucin, (2024)

#### 4.5.5. Quinto Ensayo

Para el quinto ensayo de viga a flexión en cuatro puntos se utiliza en México para evaluar la resistencia a la fatiga de mezclas asfálticas. La curva de fatiga muestra la relación entre el nivel de sollicitación y el número de ciclos a la falla. Se evaluaron niveles de deformación de 500, 600 y 650  $\mu\epsilon$  para determinar el límite de resistencia a fatiga y el número de repeticiones a la falla.

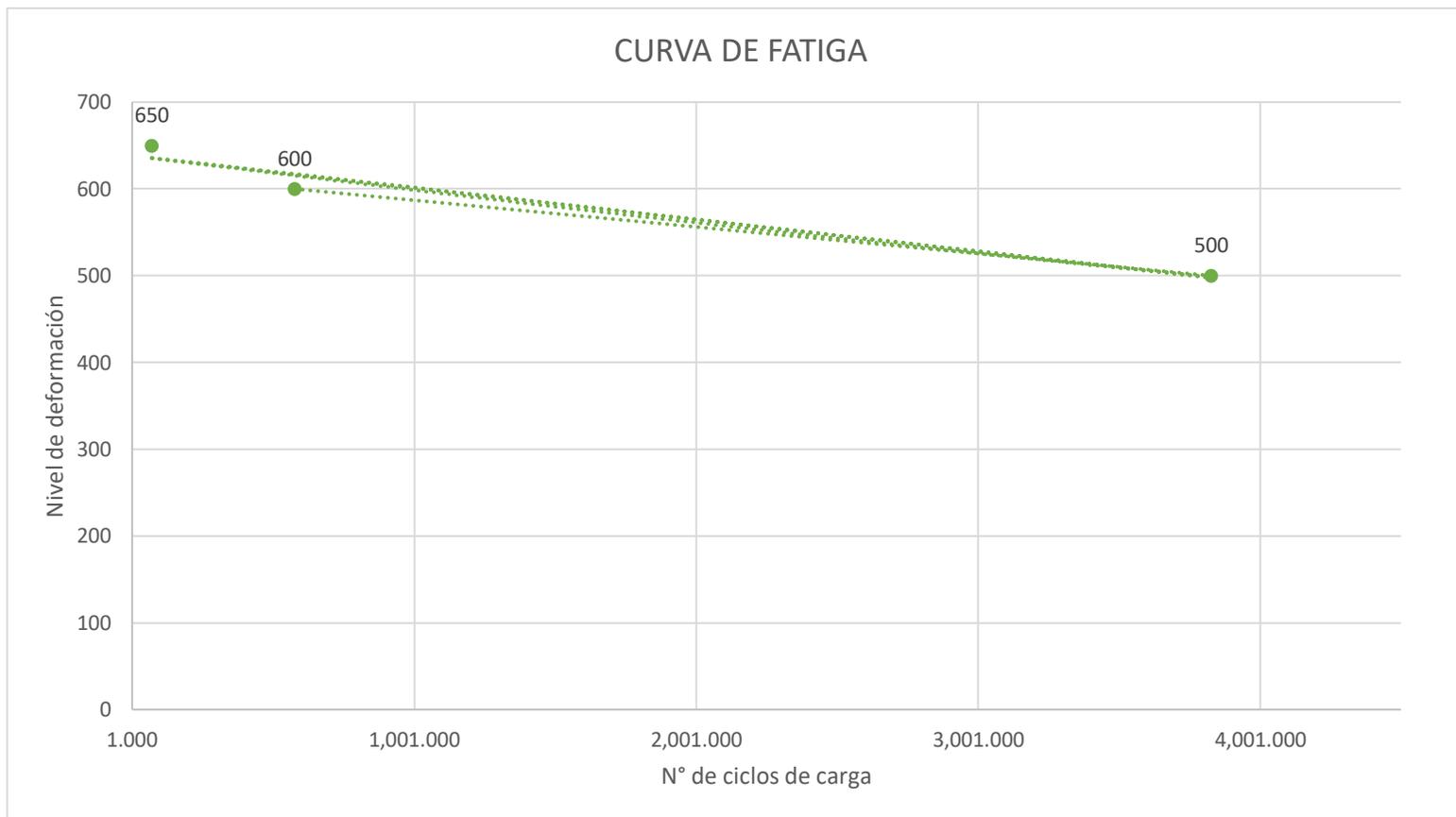
Tabla 17: Resumen de valores de quinto ensayo de fatiga pavimentos flexibles con RAP

Nombre de Probeta	Nivel de deformación	Nº ciclos de cargas	Promedio Nf
EARA 2P_650	650	63,095	71,150
	650	79,204	
EARA 2P_600	600	501,187	577,159
	600	653,130	
EARA 2P_500	500	3,475,545	3827,069
	500	4,178,592	

Nota: Se observan el resumen de los resultados de los ensayos de fatiga con su respectivo nivel de deformación.

Fuente: Díaz et al., (2023)

Figura 14: Curva de fatiga del quinto ensayo de pavimento flexible con RAP



Nota: Se observan los valores que toma la curva con respecto a las mezclas con porcentajes de RAP.

Elaborado: Lucin, (2024)

#### 4.6. Análisis de resultados

Figura 15: Tendencia de desempeño de pavimento flexible con RAP (2019-2023)



Nota: Se observan los valores que el gráfico de barras con respecto a año y el número de ciclos de carga durante los últimos 5 años.

Elaborado: Lucin, (2024)

Se observa una tendencia a la baja en el número de ciclos de ensayo a lo largo de los años. En 2019, se registró un pico de 215.070.000 ciclos, pero en 2020, este número se desplomó a 15.330.000 ciclos. Esta caída sugiere un posible deterioro en el material o sistema sometido a ensayo.

La disminución de ciclos se mantiene en los años siguientes, con valores decrecientes en 2021, 2022 y 2023. Esta tendencia a la baja podría indicar un problema subyacente que requiere atención. Es crucial analizar estos resultados con precisión para tomar decisiones informadas y abordar cualquier problema que pueda estar afectando el rendimiento del material o sistema.

#### 4.7. Ciclo de vida por curva de fatiga para pavimentos flexibles con RAP

##### 4.7.1. Primer ensayo

Tabla 18: Resumen de valores de primer ensayo pavimentos flexibles con RAP

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	215,070,000	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/día
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 215,070,000

Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{215,070,000 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/días}} = 215,07 \approx 216 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{215,070,000 \text{ ciclos}}{2} = 107535 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con FS} = \frac{N'}{n} = \frac{107535 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/día}} = 107,535 \approx 108 \text{ días}$$

#### 4.7.2. Según ensayo

Tabla 19: Resumen de valores de segundo ensayo pavimentos flexibles con RAP

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	15,330,000,000	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/dia
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 15,330,000,000

Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{15,330,000,000 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/dias}} = 15330 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{15,330,000,000 \text{ ciclos}}{2} = 7665000 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con FS} = \frac{N'}{n} = \frac{7665000 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/dia}} = 7665 \text{ días}$$

### 4.7.3. Tercer ensayo

Tabla 20: Resumen de valores de tercer ensayo de pavimentos flexibles con RAP

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	120,000,000	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/dia
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 120,000,000

Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{120,000,000 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/dias}} = 120 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{120,000,000 \text{ ciclos}}{2} = 60000 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con FS} = \frac{N'}{n} = \frac{60000 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/dia}} = 60 \text{ días}$$

#### 4.7.4. Cuarto ensayo

Tabla 21: Resumen de valores de cuarto ensayo pavimentos flexibles con RAP

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	1,027,000,000	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/dia
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 1,027,000,000

Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{1,027,000,000 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/dias}} = 1027 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{1,027,000,000 \text{ ciclos}}{2} = 513500 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con FS} = \frac{N'}{n} = \frac{513500 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/dia}} = 513,5 \approx 514 \text{ días}$$

#### 4.7.5. Quinto ensayo

Tabla 22: Resumen de valores de quinto ensayo pavimentos flexibles con RAP

<b>Esfuerzo de trabajo (<math>\sigma</math>):</b>	150	Mpa
<b>Número de ciclos a falla (N):</b>	1,492,000,000	ciclos
<b>Ciclos diarios (n):</b>	1000	ciclos/dia
<b>Factor de seguridad (FS):</b>	2	

Nota: Se observan el resumen los valores para el calculo de ciclo de vida, con un numerico de ciclos a falla de 1,492,000,000

Elaborado: Lucin, (2024)

- **Vida útil sin factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil} = \frac{N}{n} = \frac{1,492,000,000 \text{ ciclos}}{1000 \text{ ciclos/dias}} = 1492 \text{ días}$$

- **Aplicación del factor de seguridad:**

$$N' = \frac{N}{FS} = \frac{1,492,000,000 \text{ ciclos}}{2} = 746000 \text{ ciclos}$$

- **Vida útil con factor de seguridad:**

$$Vida \text{ Útil con FS} = \frac{N'}{n} = \frac{746000 \text{ ciclos}}{1,000 \text{ ciclos/dia}} = 746 \text{ días}$$

## CONCLUSIONES

- ❖ Al analizar de manera comparativa el desempeño de ambos pavimentos flexibles, tanto tradicionales como los que incorporan RAP en el continente americano, hemos evaluado factores claves como su desempeño mediante la curva de fatiga, la cual es la relación entre el nivel de deformación y números de ciclos a falla, y su durabilidad mediante una relación de números de ciclos a falla y números de ciclos diarios aplicando su respectivo factor de seguridad para construcciones civiles en diversos ensayos realizados específicamente a través de los últimos 5 años. Dicha metodología nos ha dado cambios notables en su comportamiento y ciclos de vida útil, comportándose de manera más eficaz a través del tiempo.
- ❖ Al realizar la revisión científica y sistemática de la literatura hemos identificado que los pavimentos tradicionales son efectivos en referencia a su duración y resistencia, sin embargo, no son ambientalmente amigables, como lo son los pavimentos con RAP que generan beneficios de forma sostenible, con una duración y resistencia similar a los pavimentos tradicionales. Por lo tanto, hay que tener en cuenta los factores económicos, ambientales y estructurales.
- ❖ Se han identificado una variedad de factores para determinar el desempeño del pavimento mediante en el ensayo de 4 puntos como lo son la deformación máxima a tracción, Angulo de fase, esfuerzo máximo de tracción y rigidez flexural que nos han permitido establecer el nivel de desempeño en relación al número de ciclo de cargas para obtener así su respectiva curva de fatiga para cada ensayo.
- ❖ El análisis de resultados para pavimentos flexibles tradicionales, se observa una marcada variabilidad en el desempeño de las mezclas asfálticas, con un rendimiento superior en 2023 (39 millones de ciclos de carga promedio). Los años precedentes (2019-2021) muestran un desempeño inferior, mientras que 2022 presenta un declive pronunciado.
- ❖ El análisis de resultados para pavimentos flexible con RAP, se observa Se

observa una tendencia a la baja en el número de ciclos de ensayo a lo largo de los años. En 2019, se registró un pico de 215.070.000 ciclos, pero en 2020, este número se desplomó a 15.330.000 ciclos. Esta caída sugiere un posible deterioro en el material o sistema sometido a ensayo. La disminución de ciclos se mantiene en los años siguientes, con valores decrecientes en 2021, 2022 y 2023.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda realizar un monitoreo de las proporciones utilizadas en las mezclas asfálticas convenciones y las que incorporan RAP, además de aplicar el mantenimiento y los tratamientos necesarios para asegurar cada mezcla y su calidad.
- ❖ Se recomienda realizar la calidad de los componentes que conforman las mezclas con RAP para evitar contaminante, no reduzca la resistencia del pavimento.
- ❖ Finalmente se recomienda considerar las técnicas de construcciones civiles, condiciones ambientales y la intensidad de tráfico de las cuales son específicas para cada zona o región.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril Zuleta, S. L., Fernández Gómez, W. D., & Reyes Lizcano, F. A. (03 de 06 de 2022). *Revista Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/5294>
- Arguello, F. M. (enero de 2019). *Pitra-IenammeUCR*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1421/Boletin%201%20%20Mezclas%20asf%C3%A1lticas%20con%20RAP.pdf?sequence=1#:~:text=El%20Pavimento%20Asf%C3%A1ltico%20Reciclado%2C%20mejor,de%20estructuras%20nuevas%20o%20rehabilitadas.>
- ASSHTO. (2017). *ASSHTO*. Obtenido de <https://pdf49e05e55d0a12f207c302dc5c9fa163a.nubereader-pdfs.odilo.us/#/d8efd0c97ca541d18f949705fe8f92f9/c0376a34c54c0461d4d1017c5b084d444775d90bfda01286a4b22f67c2d676bb>
- Baioni. (17 de 02 de 2022). *Baioni*. Obtenido de <https://www.baioni.it/es/que-es-el-fresado-de-asfalto-y-por-que-lo-necesita/#:~:text=El%20proceso%20es%20muy%20similar,el%20almacenamiento%20y%20Fo%20tratamiento.>
- Baque Solis, B. S. (06 de 2019). *Uleam Universidad Laica Simon Bolivar*. Obtenido de <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/2088>
- Bitafal. (22 de 05 de 2020). *Bitafal*. Obtenido de <https://bitafal.com.uy/conceptos-basicos-sobre-pavimentos-flexibles/>
- Calidad, J. A. (21 de junio de 2020). *CTU*. Obtenido de <https://ctu.com.co/ventajas-mezcla-asfaltica-con-rap/>
- Conejo, J. S. (10 de 2021). *Repositorio Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://cedi.ucr.ac.cr/civil/propuesta-de-especificacion-del-parametro-jc-integral-para-mezclas-asfalticas/>
- Diaz, A., Martinez, R., & Sampayo, S. (09 de 2023). *Asociacion Mexicana del Asfalto*. Obtenido de [https://memorias.amaac.mx/pluginfile.php/197/mod\\_resource/content/1/Alfonso%20Di%CC%81az.pdf](https://memorias.amaac.mx/pluginfile.php/197/mod_resource/content/1/Alfonso%20Di%CC%81az.pdf)
- Estrada Escalante, V. (2022). *Kerwa repositorio Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3406901>
- Flores, G., Gallego, J., Miranda, L., & Martin Cano, M. (30 de 10 de 2020). *Asociacion Tecnica de Emulsion Bituminosas*. Obtenido de <https://www.ateb.es/index.php/site-administrator/articulos-tecnicos/item/412-metodologia-de-diseno-para-mezclas->

- reciclad-as-con-emulsion-y-100-de-rap
- Grasa, G. (16 de 10 de 2023). *Excavaciones Grasa*. Obtenido de <https://excavacionesgrasa.com/el-uso-de-los-pavimentos-ecologicos-en-proyectos-de-construccion/>
- Horacio, D. A., Ayala del Toro, Y., & Garnica Anguas, P. (07 de 04 de 2016). *Efecto de la Temperatura en la Evaluación de la Fatiga en Ligantes Asfálticos*. *Infraestructura Vial*. Obtenido de [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-37052016000100005&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052016000100005&lng=en&tlng=es).
- Hugo. (08 de 03 de 2010). *Blogspot Pavimentos*. Obtenido de <https://libro-pavimentos.blogspot.com/2010/03/definicion-de-desempeno-del-pavimento.html>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2005). *Secretaria de Comunicaciones y Transporte*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>
- Interempresas. (14 de 11 de 2018). *Interempresas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/228962-Fresar-materiales-sin-mezcla-reciclar-rentablemente.html>
- Leiva Villacorta, F., & Vargas Nordbeck, A. (26 de julio de 2017). *Scielo*. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/infraestructura/v19n33/2215-3705-infraestructura-19-33-35.pdf>
- Ministerio de transporte de Argentina. (12 de 2022). *Argentina Gob*. Obtenido de [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/03/ansv\\_ov\\_dossier\\_investigacion\\_9.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/03/ansv_ov_dossier_investigacion_9.pdf)
- Mora Valverde, M. K., Aguiar Moya, J. P., & Jiménez Acuna, M. (06 de 2021). *Análisis de la variabilidad asociada a ensayos de fatiga en mezclas asfálticas*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15517/iv.v23i41.44420>.
- Obras Publicas, M. D. (01 de 12 de 2013). *Obras Publicas Ecuador*. Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_2A.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf)
- Ochoa Ambriz, L. A. (2019). *Repositorio Institucional Universidad de Queretaro*. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/10020>
- Orejuela González, A. V., & Jiménez Moreno, J. L. (25 de 11 de 2020). *Repositorio Universidad Santo Tomás*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30962>
- Pantoja Peña, L. J., & Delgado Alamilla, H. (23 de 08 de 2023). *Asociacion mexicana del asfalto, A.C.* Obtenido de [https://memorias.amaac.mx/pluginfile.php/191/mod\\_resource/content/1/Control%20e](https://memorias.amaac.mx/pluginfile.php/191/mod_resource/content/1/Control%20e)

- stadi%CC%81stico%20de%20calidad%20de%20ensayos%20de%20lab\_compresse  
d.pdf
- Pavitek. (09 de 06 de 2021). *Pavitek España*. Obtenido de <https://pavitek.es/pavitek-desarrolla-un-pavimento-pionero-en-asturias-a-partir-de-caucho-reciclado-procedente-de-neumaticos-usados/>
- Pérez, F. (11 de 12 de 2023). *Cementos Torices*. Obtenido de <https://cementostorices.com/blog/construccion/que-es-el-pavimento-tipos-y-caracteristicas/>
- Publicas, M. D. (2013). *Obras públicas*. Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_1.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_1.pdf)
- Publicas, M. D. (01 de 12 de 2013). *OBRAS PÚBLICAS ECUADOR*. Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_5.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_5.pdf)
- Rocafuerte, U. L. (2024). Obtenido de <https://www.ulvr.edu.ec/academico/unidad-de-titulacion/proyecto-de-investigacion>
- Rodriguez, A., & Bastidas, R. (2022). *Scielo Venezuela - Análisis comparativo: Una propuesta didáctica*. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0459-12832012000200004&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0459-12832012000200004&lng=es&tlng=es).
- Rodriguez, J. L. (11 de 2019). *Repositorio Universidad Tecnica Federico Santa Maria*. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/55619>
- Socotec. (05 de 12 de 2022). *Socotec*. Obtenido de <https://www.socotec.es/noticias/pavimentos-sostenibles-apuesta-presente#:~:text=El%20pavimento%20sostenible%2C%20es%20decir,al%20cuidado%20del%20medio%20ambiente>.
- T342-11, A. (2015). Obtenido de [https://matest.ru/uploads/standards/AASHTO\\_T342-11.pdf](https://matest.ru/uploads/standards/AASHTO_T342-11.pdf)
- Transporte, L. S. (05 de 05 de 2017). *Obras públicas*. Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/10/LOTAIP\\_5\\_LEY-DE-INFRAESTRUCTURA.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/10/LOTAIP_5_LEY-DE-INFRAESTRUCTURA.pdf)
- ULVR. (s.f.). *ULVR Unidad de titulación*. Obtenido de 2023: <https://www.ulvr.edu.ec/academico/unidad-de-titulacion/proyecto-de-investigacion>
- UNE-EN, 1.-2. (07 de 2019). *UNE*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0062150>
- Vaisnav, R. (22 de enero de 2024). *LAMBDA GEEKS*. Obtenido de <https://es.lambdageeks.com/can-asphalt-be-recycled/>
- Vias, I. N. (15 de 11 de 2013). Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp->

content/uploads/2021/04/INV-784-13.pdf

Villarroel, L. (27 de junio de 2016). *Propiedades del asfalto*. Obtenido de <https://propiedadesdelasfalto.blogspot.com/2016/06/propiedades-del-asfalto-losasfaltos-son.html>

Webbing. (29 de 11 de 2022). *Kzen Point*. Obtenido de <https://trcpaint.com/pavimentos-flexibles/>

Yustres Vargas, C. E., & Collazos Arias, R. S. (2022). *Repositorio Institucional UCC*. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/581b44d4-cc67-4d34-b8b3-a67e780898ab/content>

Zapata, I. (24 de 06 de 2021). *Ingenio Tecnologo*. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/journal/266/2662024009/html/>