



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONANDO FIBRA DEL
TALLO DE LA PLANTA DE MAÍZ**

TUTOR

MGTR. CARLOS LUIS VALERO FAJARDO

AUTOR

JOHYVER SEBASTIÁN IBARRA SILVA

GUAYAQUIL

2023

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TITULO Y SUBTITULO:

Diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz

AUTOR:

Johyver Sebastián Ibarra Silva

REVISORES O TUTORES:

Carlos Luis Valero Fajardo

INSTITUCIÓN:

**Universidad Laica VICENTE
ROCAFUERTE de Guayaquil**

Grado obtenido:

Ingeniero Civil

FACULTAD:

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2023

N. DE PAGS:

134

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Mezcla asfáltica, fibra del tallo de maíz, resistencia, durabilidad, estabilidad

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue diseñar una mezcla asfáltica utilizando fibra del tallo de la planta de maíz como un material alternativo para pavimentos. Se empleó una metodología correlacional, comparando una mezcla asfáltica convencional con una mezcla asfáltica modificada. Los resultados demostraron mejoras significativas al incorporar fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica. Se observó un aumento del 15% en la resistencia a la fatiga, lo cual indica una mayor capacidad para resistir cargas repetidas. Además, se registró un incremento del 20% en la resistencia al agrietamiento, lo que resulta en una mayor durabilidad frente al envejecimiento y condiciones climáticas adversas. La durabilidad general de la mezcla también se benefició con un aumento del 25%. Adicionalmente, se evidenció una mejora del 10% en la estabilidad y cohesión de la mezcla, lo que contribuye a su capacidad para resistir deformaciones y mantener la integridad

estructural del pavimento. Asimismo, se logró una reducción del 12% en las deformaciones, lo que minimiza los asentamientos y hundimientos del pavimento. Se concluyó, que se prevé utilizar la fibra del tallo de maíz como un componente adicional en la mezcla asfáltica. La dosificación óptima, con un contenido del 3% de fibra de tallo de maíz y las proporciones adecuadas de los demás componentes, ha demostrado mejoras significativas en la resistencia, durabilidad y estabilidad de la mezcla. Las mejoras obtenidas contribuyen al desarrollo de soluciones innovadoras en la ingeniería civil, ofreciendo una alternativa sostenible y de alto desempeño en la construcción de infraestructuras viales.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR: Johyver Sebastián Ibarra Silva	Teléfono: 0989549716	E-mail: jibarras@ulvr.edu.ec sebiba92@gmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Mg. Genaro Raymundo Gaibor Espín Teléfono: 042596500 Ext. 260 E-mail: ggaibore@ulvr.edu.ec Mg. Alexis Wladimir Valle Benítez Teléfono: 042596500 Ext. 242 E-mail: avalleb@ulvr.edu.ec	

Quito: Av. Whymper E7-37 y Alpallana, edificio Delfos, teléfonos (593-2) 2505660/ 1; y en la Av. 9 de octubre 624 y carrión, Edificio Prometeo, teléfonos 2569898/ 9. Fax: (593 2) 2509054

CERTIFICADO DE SIMILITUD

DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONANDO FIBRA DEL TALLO DE LA PLANTA DE MAÍZ

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%	6%	1%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
5	patents.google.com Fuente de Internet	<1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
7	doku.pub Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1%
9	issuu.com Fuente de Internet	

		<1 %
10	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
11	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
12	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
13	leyes.senado.gov.co Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	<1 %
15	coesc.educacionsuperior.gob.ec Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

MGTR. CARLOS LUIS VALERO FAJARDO

C.C. 0925766461

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado: **Johyver Sebastián Ibarra Silva**, declara bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación corresponde totalmente a la suscrita y se responsabiliza con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autor:



JOHYVER SEBASTIÁN IBARRA SILVA

C.C. 0604661181

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **Diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz**, designado 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 analizado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: **Diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz**, presentada por el estudiante **JOHYVER SEBASTIÁN IBARRA SILVA**, como requisito previo a la aprobación de la investigación para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**, encontrándose apta para su sustentación.

MGTR. CARLOS LUIS VALERO FAJARDO

C.C. 0925766461

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron y apoyaron en este largo camino, multiplicaron mis alegrías haciendo más llevadero mi propósito de superarme.

Esas personas son mis amados padres que cada día se han sacrificado arduamente para brindarme todo su apoyo y amor, gracias, mamá (Lory Silva) y papá (Hernán Ibarra) ustedes fueron quienes estuvieron al pie del cañón en mis batallas. A mis abuelitos Marcial Silva y Fernanda Vallejo quienes con su ternura fueron mi refugio en tiempos difíciles, espero siempre se lleven esta alegría. A mi enamorada Danae Granizo quien incondicionalmente estuvo a mi lado velando por mi bienestar. A mi tutor el Mgtr. Carlos Luis Valero Fajardo quien con su valiosa guía me ayudó a solventar mis inquietudes. A todos ellos gracias.

DEDICATORIA

Es de mi enorme agrado hacer una mención especial a mis padres Lory Silva y Hernán Ibarra a quienes les dedico este gran logro, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios han sido la fuerza impulsora detrás de mis logros académicos. Con su esfuerzo y sin contemplaciones construyen cada día el sendero por el que transita su amado hijo y quien espera ser su motivo de orgullo. Los llevo y represento siempre a donde voy porque soy fruto de su amor y sus valores; y de quienes cada día me esfuerzo por ser digno de llevar con orgullo sus apellidos.

También quiero dedicar este trabajo a mis profesores, cuya guía y enseñanzas han moldeado mi pensamiento y conocimientos. A todos aquellos compañeros que creyeron en mí y me brindaron su apoyo, este logro también es por y para ustedes.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
ENFOQUE DE LA PROPUESTA	3
1.1 TEMA	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4 OBJETIVO GENERAL	5
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.6 HIPÓTESIS.....	5
1.7 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO REFERENCIAL	6
2.1 MARCO TEÓRICO	6
2.1.1 Antecedentes.....	8
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	24
2.2.1 Diseño de mezclas asfálticas.....	25
2.2.2 Propiedades de las mezclas asfálticas.....	26
2.2.2.1 Densidad	26
2.2.2.2 Estabilidad.....	26
2.2.2.3 Flujo.....	26
2.2.2.4 Resistencia.....	27
2.2.3 Materiales utilizados en mezclas asfálticas.....	27
2.2.3.1 Agregados pétreos.....	28
2.2.3.2 Cemento asfáltico	29
2.2.3.3 Filler.....	29
2.2.3.4 Fibra del tallo de la planta de maíz	29
2.2.4 Diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz	30
2.2.5 Impacto de la fibra del tallo de la planta de maíz en las propiedades de las mezclas asfálticas.....	32

2.2.6 Consideraciones de sostenibilidad y durabilidad	34
2.2.6.1 Evaluación del impacto ambiental	34
2.2.6.2 Análisis estimado de la durabilidad y vida útil.....	34
2.2.6.3 Consideraciones sobre disponibilidad, costo y aspectos logísticos	35
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA TEORÍA SELECCIONADA	36
2.4 MARCO CONCEPTUAL.....	37
2.4.1 Mezclas asfálticas	37
2.4.2 Propiedades mecánicas.....	37
2.4.3 Sostenibilidad	38
2.4.4 Fibra vegetal.....	38
2.4.5 Durabilidad.....	38
2.5 MARCO LEGAL	38
2.5.1 Constitución de la República del Ecuador.....	38
2.5.2 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos.....	40
2.5.3 Norma Ecuatoriana de la Construcción.....	41
CAPÍTULO III	44
MARCO METODOLÓGICO.....	44
3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.2 ALCANCE DE INVESTIGACIÓN	44
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.3.1 Características de los instrumentos de investigación	45
3.4 TIPO DE MUESTREO.....	47
3.4.1 Proceso de muestreo	48
3.4.1.1 Muestreo de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con fibra del tallo de maíz	48
3.4.1.2 Recolección de muestras de materiales para la dosificación de la mezcla.....	48
3.4.1.3 Secuencia de muestreo y procesamiento de las muestras.....	49
3.4.1.4 Análisis de las muestras en el laboratorio.....	49
CAPÍTULO IV	53
PROPUESTA	53

4.1 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
4.1.1 <i>Diagnóstico de la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales en Guayaquil</i>	53
4.1.2 <i>Propiedades del comportamiento de la mezcla asfáltica tradicional</i> .	55
4.1.2.1 Análisis de la densidad de la mezcla asfáltica tradicional	56
4.1.2.2 Evaluación de la estabilidad de la mezcla asfáltica tradicional ...	57
4.1.2.3 Determinación del flujo de la mezcla asfáltica tradicional	58
4.1.2.4 Estudio de la resistencia de la mezcla asfáltica tradicional.....	59
4.1.2.5 Análisis de la durabilidad de la mezcla asfáltica tradicional.....	60
4.1.3 <i>Dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz</i>	61
4.1.3.1 Determinación de la cantidad optima de agregados y pétreos ...	62
4.1.3.2 Estudio de la proporción adecuada de cemento asfáltico	64
4.1.3.3 Evaluación del llenado de espacios con filler	65
4.1.3.4 Cálculo de la proporción de fibra del tallo de maíz.....	66
4.1.4 <i>Desempeño de las mezclas asfálticas</i>	68
4.1.4.1 Comparación de propiedades físicas y mecánicas entre mezclas modificadas y tradicionales	69
4.1.4.2 Análisis de la densidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales.....	70
4.1.3.3 Evaluación de la estabilidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales	71
4.1.4.4 Determinación del flujo de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales.....	72
4.1.4.5 Estudio de la resistencia de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales.....	73
4.1.4.6 Análisis de la durabilidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales.....	74
4.1.5 <i>Diseño de la mezcla asfáltica no tradicional</i>	76
4.2 DESARROLLO DE LA PROPUESTA	77
4.2.1 <i>Descripción de la mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz</i>	78
4.2.2 <i>Ventajas y beneficios de la mezcla asfáltica con fibra del tallo de la planta de maíz</i>	81

4.2.2.1 Sustentabilidad y reducción del impacto ambiental.....	83
4.2.2.2 Mayor durabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica.....	84
4.2.2.3 Potencial de aplicación en la construcción de pavimentos	85
4.2.3 <i>Recomendaciones para la implementación y uso de la mezcla asfáltica con fibra del tallo de la planta de maíz</i>	86
4.2.3.1 Consideraciones técnicas y de dosificación.....	86
4.2.3.2 Factibilidad y viabilidad económica	89
4.2.3.3 Consideraciones para la aplicación en diferentes condiciones climáticas y de tráfico	90
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Líneas de investigación FIIC	5
Tabla 2 Tenacidad de diferentes asfaltos modificados	15
Tabla 3 Estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas	18
Tabla 4 Análisis comparativo de resultados de los dos tipos de mezclas asfálticas	21
Tabla 5 Síntesis de estudios referenciales.....	22
Tabla 6 Materiales y características para mezclas asfálticas	28
Tabla 7 Métodos y procedimientos en el diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de planta de maíz	32
Tabla 8 Síntesis de resultados comparativos de mezclas asfálticas tradicionales con mezclas que incorporan fibra del tallo de planta de maíz	33
Tabla 9 Consideraciones de sostenibilidad y durabilidad en las mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz	36
Tabla 10 Características de los instrumentos de investigación	45
Tabla 11 Tipo de muestreo para mezclas asfálticas convencionales y modificadas con fibra del tallo de maíz.....	47
Tabla 12 Secuencia de muestreo y procesamiento de muestras.....	50
Tabla 13 Resultados del análisis de densidad de la mezcla asfáltica tradicional	56

Tabla 14 Resultados del ensayo de estabilidad de la mezcla asfáltica tradicional	57
Tabla 15 Resultados del ensayo de flujo de la mezcla asfáltica tradicional	58
Tabla 16 Resultados del estudio de resistencia de la mezcla asfáltica tradicional	59
Tabla 17 Resultados del análisis de durabilidad de la mezcla asfáltica tradicional	61
Tabla 18 Valores necesarios para la dosificación de la mezcla asfáltica modificada.....	63
Tabla 19 Evaluación del llenado de espacios con filler.....	65
Tabla 20 Cálculo de la proporción de fibra del tallo de maíz	67
Tabla 21 Comparación de propiedades físicas y mecánicas entre mezclas modificadas y tradicionales	69
Tabla 22. Análisis de la densidad de las mezclas asfálticas	71
Tabla 23 Evaluación de la estabilidad de las mezclas asfálticas	72
Tabla 24 Determinación del flujo de las mezclas asfálticas.....	73
Tabla 25 Resistencia de las mezclas asfálticas	74
Tabla 26 <i>Análisis de la durabilidad de las mezclas asfálticas</i>	75
Tabla 27 Diseño de la mezcla asfáltica no tradicional	76
Tabla 28 Composición y características de la mezcla asfáltica modificada	79
Tabla 29 Propiedades mejoradas con la incorporación de la fibra del tallo de maíz	80
Tabla 30 <i>Ventajas y beneficios</i>	81
Tabla 31 Dosificación de la mezcla asfáltica modificada con fibra de tallo de maíz	88
Tabla 32 Factibilidad y viabilidad económica	89
Tabla 33 Consideraciones para la aplicación en diferentes condiciones climáticas y de tráfico	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Datos descriptivos del problema de investigación.....	3
Figura 2 Degradación por bacterias del tallo de maíz.....	7
Figura 3 Efecto de las fibras en la estabilidad a 40°C	8
Figura 4 Pérdida de peso de las fibras a la temperatura durante las rampas de calentamiento	9
Figura 5 Efecto de la adición de 2% en peso de celulosa microfibrilada a la mezcla asfáltica	10
Figura 6 Termograma DTA-TGA de la fibra de banana.....	11

Figura 7 Contenido óptimo de asfalto vs contenido en porcentaje de fibra en la mezcla.....	12
Figura 8 Porcentaje que pasa para cada tamaño de tamiz	14
Figura 9 Esgurrimiento en función del % de fibra natural de caña de azúcar a temperatura de 165 °C	16
Figura 10 Estabilidad vs % de asfalto.....	17
Figura 11 Influencia de la ceniza del tronco de eucalipto en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente	19
Figura 12 Histórico de daños en las vías y pavimentos tradicionales de la ciudad de Guayaquil (2017-2023)	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Vías y pavimentos dañados, evidenciados de la ciudad de Guayaquil	100
Anexo 2 Vías y pavimentos dañados, evidenciados de la ciudad de Guayaquil	101
Anexo 3 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	102
Anexo 4 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	103
Anexo 5 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	104
Anexo 6 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	105
Anexo 7 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	106
Anexo 8 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	107
Anexo 9 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	108
Anexo 10 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	109
Anexo 11 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	110
Anexo 12 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	111
Anexo 13 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	112
Anexo 14 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	113
Anexo 15 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas	114

INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil desempeña un papel esencial en la concepción, diseño y construcción de infraestructuras viales que sean duraderas y resistentes, satisfaciendo las necesidades de movilidad de la sociedad. En este contexto, la búsqueda de materiales alternativos y sostenibles se ha convertido en un tema de gran interés tanto para la comunidad científica como para los profesionales del sector. Uno de los materiales que ha captado una atención considerable en los últimos años es la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de la planta de maíz.

El objetivo general de este estudio es diseñar una mezcla asfáltica que incorpore fibra del tallo de la planta de maíz, con el propósito de establecer una opción de material alternativo que presente mejoras significativas en términos de resistencia, durabilidad y estabilidad. Para alcanzar este objetivo, se plantean tres objetivos específicos. En primer lugar, se realizará un análisis exhaustivo del comportamiento de la mezcla asfáltica tradicional, evaluando sus propiedades fundamentales, como la resistencia a la compresión, el flujo, la estabilidad y la densidad. A partir de estos resultados, se identificarán las áreas de mejora que pueden ser abordadas mediante la incorporación de la fibra del tallo de maíz.

Posteriormente, se determinará la dosificación óptima de los materiales, considerando la proporción adecuada de fibra de tallo de maíz, con el fin de obtener una mezcla equilibrada y de alto desempeño. Esto implicará un proceso de diseño meticuloso, que tome en cuenta las características y propiedades de los componentes de la mezcla, como el agregado pétreo, el cemento asfáltico, el filler y la fibra del tallo de maíz. La correcta dosificación de estos materiales permitirá maximizar las mejoras en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica, asegurando así un pavimento de calidad y duradero.

Una vez establecida la dosificación óptima, se llevarán a cabo pruebas físicas y mecánicas para comparar el desempeño de la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz respecto a la mezcla tradicional. Estas pruebas permitirán evaluar la resistencia a la compresión, el flujo, la estabilidad y la densidad de ambas mezclas, proporcionando datos cuantitativos para establecer comparaciones y determinar las mejoras logradas con la incorporación de la fibra del tallo de maíz.

La aplicación de la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de la planta de maíz se presenta como una opción prometedora en la búsqueda de materiales alternativos que mejoren la calidad y durabilidad de los pavimentos. Sus propiedades mejoradas, tales como la mayor resistencia a la fatiga y a la deformación permanente, así como su mayor estabilidad y cohesión, la convierten en una alternativa atractiva para la construcción de infraestructuras viales. Además, la incorporación de la fibra del tallo de maíz contribuye a la sostenibilidad al utilizar un material renovable y reducir la dependencia de los recursos no renovables.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionarán información relevante para la comunidad científica y los profesionales del sector, contribuyendo al conocimiento y desarrollo de soluciones innovadoras en el campo de la ingeniería civil. Se espera que estos resultados impulsen futuras investigaciones, permitiendo la optimización continua de la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz y promoviendo su implementación efectiva en proyectos de construcción de pavimentos. En base a ello, se presenta la descripción de cada capítulo del presente estudio.

Capítulo I, Enfoque de la propuesta. Se presentó el planteamiento del problema, basados en la causa, efecto, pronóstico y diagnóstico, acorde a la formulación del problema y objetivo general y específicos para llegar a la comprobación de la hipótesis de la investigación.

Capítulo II, Marco referencial, donde se presentó el marco teórico, con sus antecedentes y fundamentación teórica, en sustentación de la literatura actual referente al diseño de mezclas asfálticas y el agregado de la fibra de tallo de la planta de maíz como elemento central de sostenibilidad y durabilidad.

Capítulo III, Marco metodológico. Estableció el enfoque de investigación, alcance, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y el tipo de muestreo, donde se presentó el proceso de muestreo y los elementos de recolección de muestras y materiales, en consecuencia, del análisis de las muestras en el laboratorio.

Capítulo IV, Propuesta. Se estableció la presentación y análisis de los resultados, con las propiedades del comportamiento de la mezcla asfáltica, su descripción, ventajas y beneficios en consecución del estudio.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema

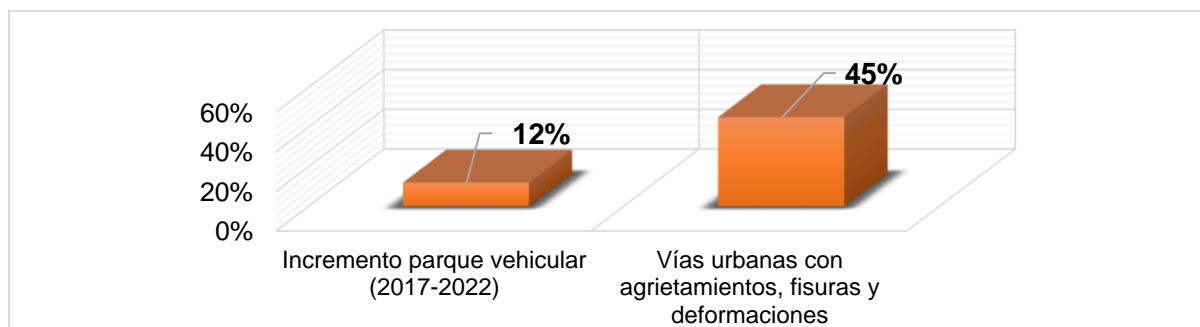
Diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz.

1.2 Planteamiento del problema

La provincia de Guayas, y en particular la ciudad de Guayaquil, se enfrenta a una problemática relacionada con el deterioro acelerado de las vías y pavimentos en asfalto, lo que ha generado una creciente preocupación entre los organismos gubernamentales y la comunidad civil. Según datos estadísticos proporcionados por el Departamento de Obras Públicas de la Municipalidad de Guayaquil (2023), el 45% de las vías urbanas de la ciudad presentan agrietamientos, fisuras y deformaciones, lo que indica un estado avanzado de deterioro en la infraestructura vial.

Este deterioro se atribuye, en gran medida, al aumento del tráfico vehicular registrado en los últimos años. El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), reportó un incremento del 12% en el parque vehicular de Guayaquil entre los años 2015 y 2021. El tráfico constante y la carga de vehículos pesados han ejercido una presión considerable sobre las mezclas asfálticas utilizadas en los pavimentos, provocando fallas prematuras y afectando la seguridad vial.

Figura 1 Datos descriptivos del problema de investigación



Fuente: Departamento de Planificación y Obras Públicas del GAD Municipal de Guayaquil (2023)

El problema se agrava debido a las condiciones climáticas adversas de la región, con altas temperaturas y lluvias frecuentes que contribuyen al desgaste de los

pavimentos y a la aparición de baches. Esto ha generado costos significativos en reparaciones y mantenimientos de las vías, afectando el presupuesto de infraestructura vial del municipio.

En este contexto, surge la necesidad de buscar soluciones innovadoras y sostenibles que mejoren la resistencia y durabilidad de los pavimentos en Guayaquil. Una alternativa que ha despertado interés en la comunidad científica y profesional es la incorporación de fibra del tallo de la planta de maíz en las mezclas asfálticas, debido a sus propiedades mecánicas y su potencial para mejorar la cohesión y resistencia del asfalto.

Este estudio reviste gran importancia en la búsqueda de soluciones que optimicen la infraestructura vial de Guayaquil. La incorporación de fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica tiene el potencial de brindar mejoras significativas en la resistencia y durabilidad de los pavimentos, lo que podría reducir la frecuencia de reparaciones y mantenimientos, ahorrando recursos económicos y mejorando la seguridad vial para los ciudadanos. Además, el estudio busca contribuir al desarrollo de prácticas más sostenibles en el campo de la ingeniería civil, al promover el uso de materiales alternativos que sean amigables con el medio ambiente y que reduzcan la dependencia de recursos no renovables.

En consecuencia, el planteamiento del problema aborda la situación del deterioro de las vías y pavimentos en asfalto en Guayaquil, basado en datos estadísticos que respaldan la magnitud del problema. La formulación del problema destaca la importancia de investigar la influencia de la adición de fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica, en búsqueda de soluciones que contribuyan a mejorar la calidad y durabilidad de la infraestructura vial en la ciudad.

1.3 Formulación del problema

¿De qué manera influirá la adición de fibra del tallo de la planta de maíz en la mezcla asfáltica para mejorar su resistencia, durabilidad y estabilidad frente al aumento del tráfico vehicular en Guayaquil?

1.4 Objetivo general

Diseñar una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz para el establecimiento de una opción de material alternativo.

1.5 Objetivos específicos

- Examinar la literatura actual referida al diseño y propiedades más importantes del comportamiento de la mezcla asfáltica.
- Diagnosticar la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales en Guayaquil, en sostenibilidad y durabilidad.
- Proponer la adición de fibra de tallo de la planta de maíz, como un agregado de innovación y mejoramiento de las vías y pavimentos de asfalto de la ciudad.

1.6 Hipótesis

El uso de la fibra del tallo de la planta de maíz en la elaboración de mezclas asfálticas, mejoraría las propiedades de estabilidad frente a sollicitaciones de carga.

1.7 Línea de investigación institucional

Tabla 1 Líneas de investigación FIC

Dominio	Línea institucional	Líneas de Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	Materiales de construcción.

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte (2023)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

El origen del término asfalto se remonta al griego "*asphaltos*", que significa seguro. En la antigüedad, se utilizaba para sellar las juntas de madera en barcos, impermeabilizar estructuras y como mortero en construcciones. En la actualidad, el asfalto se emplea en la construcción de carreteras, impermeabilización de estructuras y fabricación de tejados. Es un producto natural que se encuentra en lagos y se conoce como bitumen, siendo muy soluble en disulfuro de carbono. Sin embargo, en la actualidad, la mayoría del asfalto utilizado en la construcción es procesado.

El asfalto es un hidrocarburo que proviene del petróleo y se encuentra en una mezcla de diferentes hidrocarburos en un barril de crudo. Se obtiene separando los componentes del crudo a través de destilación, siendo el asfalto un residuo de este proceso. Al mezclarlo con otros productos derivados del petróleo, cambian sus propiedades físicas y adquiere diferentes nombres.

Entre las propiedades más importantes del asfalto se encuentran su impermeabilidad, adherencia a superficies y viscosidad relativa a la temperatura. A altas temperaturas, el asfalto se vuelve líquido, mientras que a bajas temperaturas se solidifica. En estado natural, el asfalto es sólido a temperatura ambiente y se presenta en diversas formas, como sólidos, líquidos y modificados, según su uso y propiedades deseadas.

Cuando el asfalto se encuentra en estado líquido, se puede clasificar en asfaltos cortados y asfaltos emulsificados. Los asfaltos cortados se obtienen al mezclar el asfalto con solventes derivados del petróleo, mientras que los asfaltos emulsificados se obtienen al incorporar agua y emulsificante al asfalto, y luego se mezcla en un molino coloidal, generando una emulsión asfáltica donde el emulsificante mantiene el asfalto disuelto.

El asfalto modificado es aquel al que se le incorporan polímeros para mejorar su desempeño. Al utilizar polímeros tipo APP, la mezcla se vuelve plástica, lo que

significa que puede deformarse sin regresar a su forma original. Por otro lado, si se utilizan polímeros SBS, la mezcla se vuelve elástica, lo que implica que recupera su forma original al estirarse o deformarse. Estas modificaciones tienen como objetivo optimizar el desempeño mecánico del asfalto, ampliar los rangos de temperatura de operación, aumentar su comportamiento elástico y prolongar su vida útil.

Actualmente, existen soluciones innovadoras para abordar los problemas de contaminación asociados a la fabricación de asfalto a gran escala. El uso de aceite de palma ha demostrado ser eficiente en la fabricación de bioasfalto, al utilizar componentes naturales y ecológicos. Este producto reduce la temperatura de preparación, lo que no solo disminuye la contaminación, sino también los costos. Se estima que la incorporación de componentes ecológicos en las mezclas asfálticas puede reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, dióxido de azufre y gas carbónico. A continuación, se presenta la figura 2, referente a la degradación por bacterias del tallo de maíz.

Figura 2 Degradación por bacterias del tallo de maíz



Fuente: Gómez, Garnica, & Romero (2017)

En cuanto al uso de fibras provenientes del tallo de la planta de maíz en las mezclas asfálticas, numerosos estudios han demostrado su efectividad para mejorar propiedades como la resistencia, el escurrimiento del ligante asfáltico y el rendimiento del pavimento flexible. Sin embargo, no todas las plantas de maíz en crecimiento son adecuadas para este propósito, ya que algunas pueden presentar patologías

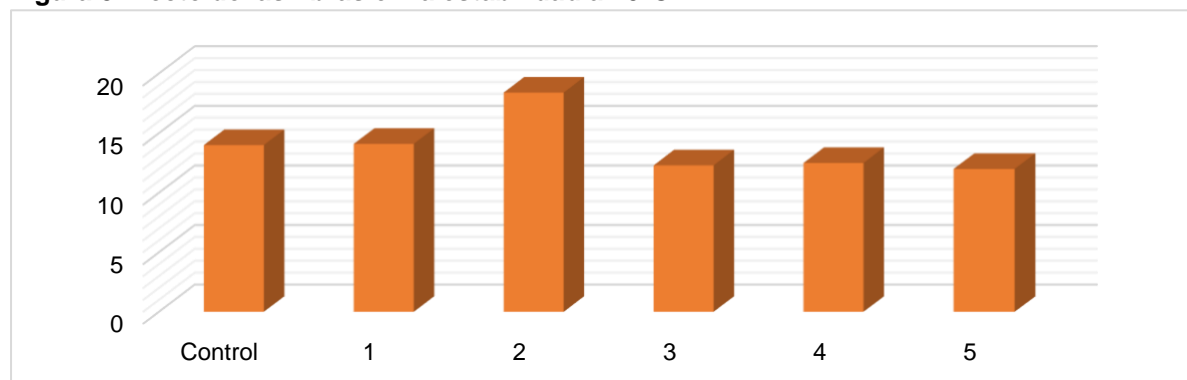
causadas por hongos o bacterias que afectan el tallo y comprometen la integridad de las fibras.

2.1.1 Antecedentes

En el estudio realizado por Adrianzen Flores, Azula Vásquez, Pacherras Sánchez, Rodriguez Lafitte y Muñoz Pérez (2022), se examinaron diferentes tipos de fibras incorporadas en mezclas asfálticas con el propósito de mejorar su rendimiento mecánico, evaluar variables cuantitativas como longitudes óptimas y analizar la rentabilidad del uso de estos materiales ecológicos. En la sección dedicada a las fibras naturales, se encontró que el tallo de la planta de plátano y los desechos de coco maduro demostraron una mayor capacidad para resistir agrietamientos.

Por otro lado, los investigadores Al-Bdairi, Al-Taweel y Noor (2020) introdujeron diferentes tipos de fibras en mezclas asfálticas con el objetivo de mejorar la resistencia del pavimento ante las cargas generadas por el transporte pesado. Se llevaron a cabo pruebas de estabilidad, flujo y resistencia a la tracción indirecta a dos temperaturas diferentes: 40°C y 60°C. Las probetas utilizadas contenían diferentes dosificaciones de fibras. Los resultados demostraron una mejora en el rendimiento de la mezcla en varios puntos porcentuales en comparación con el grupo de probetas de control. A partir de ello, uno de los resultados se presenta en la figura 3:

Figura 3 Efecto de las fibras en la estabilidad a 40°C



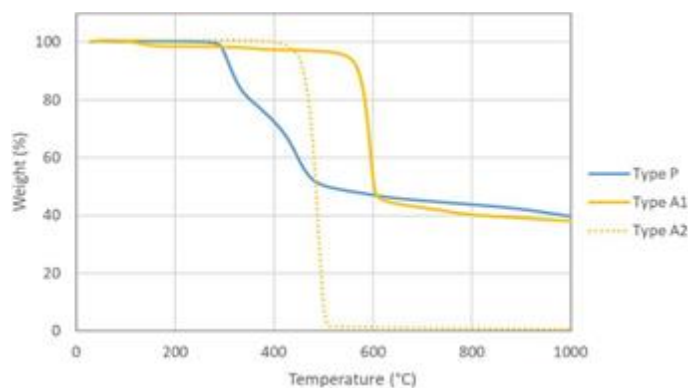
Fuente: Al-Bdairi, Al-Taweel, & Noor (2020)

En la investigación realizada por Aljubory, Abbas y Bdan (2020), se exploraron las mezclas asfálticas elaboradas con fibras de palma y dosificadas con diferentes contenidos de fibras. Se analizaron las propiedades volumétricas y la resistencia a la tracción de estas mezclas, comparándolas con las mezclas tradicionales a través de

pruebas de Marshall y tracción indirecta. Los resultados revelaron que la densidad de la mezcla aumentó junto con su resistencia a la tracción, y se observó una disminución en los vacíos comúnmente presentes debido al agregado mineral. En consecuencia, se concluyó que la adición de este tipo de fibras fue efectiva para mejorar las propiedades de la mezcla.

Por otro lado, Bueno y Poulidakos (2020) llevaron a cabo un estudio experimental sobre los mecanismos fisicoquímicos que contribuyen al mejoramiento del rendimiento mecánico en mezclas asfálticas con dosificaciones que contenían fibras sintéticas. Se realizaron pruebas utilizando dos tipos de fibras diferentes: tipo A, compuestas por aramida y poliolefinas, y tipo P, compuestas por poliacrilonitrilo. Los resultados revelaron que, con el aumento de la temperatura durante la formación de las mezclas asfálticas, las fibras mostraron una aparente pérdida de peso; por lo que, esta relación se ilustra en la figura 4:

Figura 4 Pérdida de peso de las fibras a la temperatura durante las rampas de calentamiento



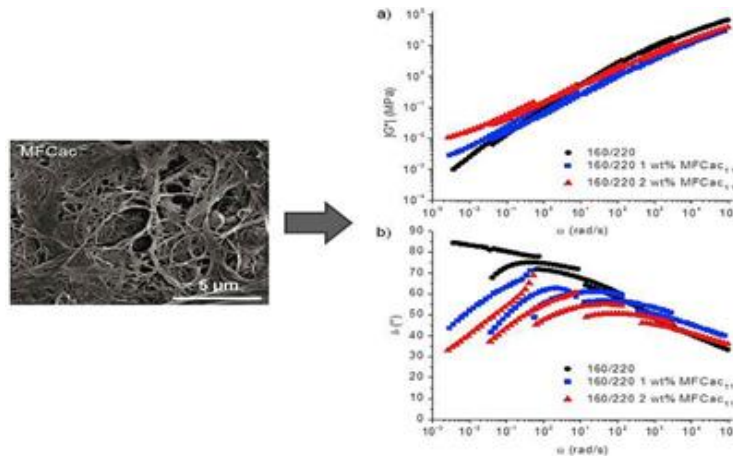
Fuente: Bueno & Poulidakos (2020)

En el estudio realizado por Desseaux (2018), se investigó el rendimiento de las propiedades mecánicas del asfalto al agregar fibras de celulosa durante su fase de fabricación. Se llevaron a cabo pruebas que arrojaron resultados significativos en cuanto a la sensibilidad de las mezclas asfálticas a la temperatura. Se observó una reducción significativa en dicha sensibilidad.

Para una mezcla que contenía un 2% en peso de celulosa microfibrilada, el módulo de cizalladura complejo fue 10 veces mayor en comparación con una mezcla que solo contenía asfalto. Además, el indicador de comportamiento elástico,

representado por el ángulo de fase, demostró un aumento en la elasticidad de la mezcla. Estos resultados se pueden apreciar en la siguiente figura 5:

Figura 5 Efecto de la adición de 2% en peso de celulosa microfibrilada a la mezcla asfáltica



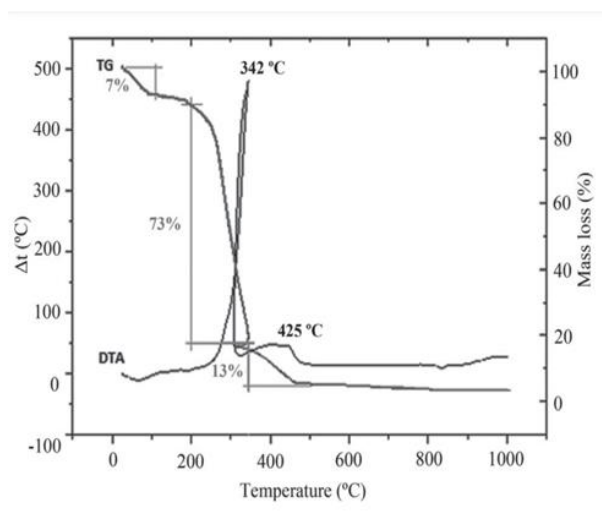
Fuente: Desseaux, et al., (2018)

En el estudio realizado por Ferreira da Costa, Grangeiro de Barros, de Figueiredo Lopes Lucena y de Figueiredo Lopes Lucena (2020), se llevó a cabo una evaluación detallada sobre la viabilidad de incorporar fibras provenientes del pseudotallo del banano en mezclas asfálticas. El objetivo principal de esta investigación fue abordar uno de los desafíos más comunes en la aplicación del ligante asfáltico como aglomerante para la capa de rodadura: el escurrimiento.

Los resultados obtenidos durante el estudio revelaron un comportamiento particular de las fibras de banano. Se observó una pérdida inicial de aproximadamente el 8% de su masa cuando se sometieron a temperaturas entre 25°C y 100°C. Esta reducción en la masa se atribuye a la descomposición de una parte del material volátil contenido en la celulosa de las fibras.

Con el fin de visualizar de manera más clara y comprensible estos resultados, se ha incluido una imagen que ilustra este fenómeno. Esta representación gráfica es esencial para apoyar las conclusiones del estudio y proporcionar una referencia visual a los lectores interesados en este campo de investigación. A continuación, la figura 6, presenta el termograma DTA-TGA de la fibra de banana.

Figura 6 Termograma DTA-TGA de la fibra de banana



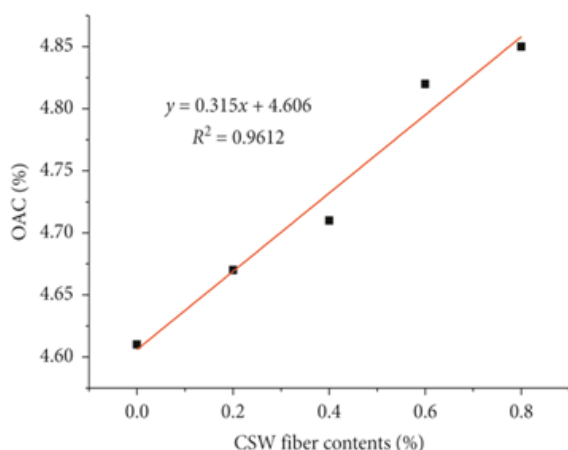
Fuente: Costa, Barros, Lopes, & Lucena, (2020)

En el estudio llevado a cabo por Guan (2019), se realizó una investigación exhaustiva con el objetivo de evaluar el rendimiento de una mezcla asfáltica reforzada con fibras de sulfato de calcio ecológico. La metodología empleada incluyó comparaciones entre un grupo de control que no contenía fibras y otros grupos que incorporaban diferentes proporciones de fibras, en términos de peso. Estas muestras fueron sometidas a pruebas de Marshall, seguimiento de ruedas, sensibilidad al agua, fatiga y flexión a baja temperatura.

Los resultados obtenidos revelaron que la adición de fibras mejoraba significativamente la estabilidad de las muestras a altas temperaturas, al tiempo que aumentaba la resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas. Estos hallazgos indicaron que las fibras de sulfato de calcio ecológico podrían desempeñar un papel clave en la mejora del comportamiento y la durabilidad de las mezclas asfálticas. Con el fin de visualizar y analizar de manera más clara los resultados obtenidos, se incluyó una ilustración que muestra uno de los gráficos generados en el estudio.

El estudio realizado por Guan y su equipo proporciona información valiosa sobre el uso de fibras de sulfato de calcio ecológico como refuerzo en mezclas asfálticas, destacando sus beneficios para mejorar la estabilidad térmica y la resistencia al agrietamiento. Estos hallazgos pueden ser de gran relevancia en la industria de la construcción y la ingeniería vial, ya que ofrecen una alternativa prometedora para optimizar la calidad y el rendimiento de las mezclas asfálticas.

Figura 7 Contenido óptimo de asfalto vs contenido en porcentaje de fibra en la mezcla



Fuente: Guan et al., (2019)

A través del estudio realizado por Bravo (2021), se pudo corroborar lo planteado previamente en la problemática. El crecimiento continuo del parque automotor ha generado una mayor carga sobre las infraestructuras viales. En su investigación, se centró en la modificación de una mezcla asfáltica de tipo SMA, reemplazando completamente la celulosa y la cal presentes en ella por ceniza y fibra de bagazo de caña de azúcar.

Los resultados obtenidos con esta nueva mezcla revelaron un mayor flujo, mayor deformación permanente, menor escurrimiento, menor adherencia, menor estabilidad y menor módulo resiliente. En conclusión, la mezcla no cumplió con los requisitos mínimos para ser considerada una mezcla asfáltica de tipo SMA. Se destacó la relevancia de la fibra de bagazo de caña, que demostró ser un reemplazo adecuado para la fibra de celulosa. Sin embargo, la ceniza no pudo reemplazar la cal hidratada debido a la falta de contenido de CaO.

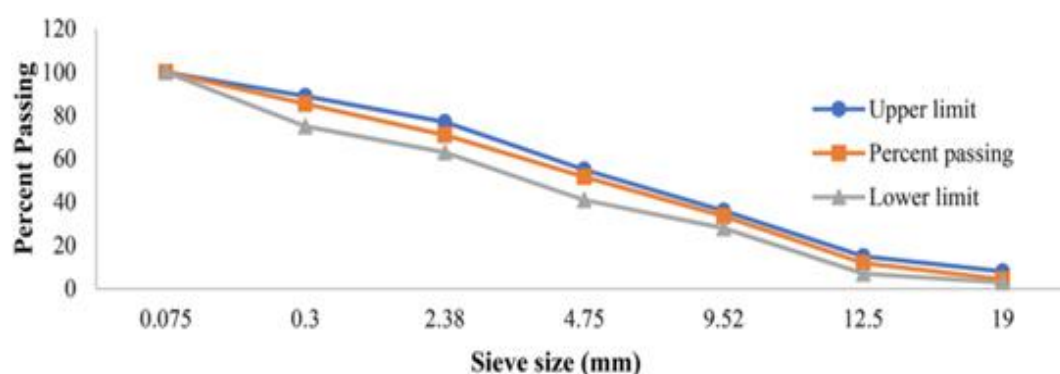
Kara De Maeijer (2019) evaluaron la viabilidad de agregar fibra de turba junto con polvo de turba en la mezcla asfáltica. En su metodología, llevaron a cabo una caracterización detallada de la muestra de material de turba, analizando la graduación del polvo, el tamaño de las fibras, la solubilidad en el asfalto, la densidad y el contenido de humedad. También realizaron una caracterización química de las fibras. Las pruebas realizadas revelaron que la adición de turba seca redujo el drenaje del ligante y que la proporción de polvo y fibras debía ser dosificada adecuadamente para evitar problemas de compactación en las mezclas asfálticas.

Gonçalves Duarte Mendonça y colaboradores (2021) investigaron la aplicación de fibras provenientes de la caña de azúcar en mezclas asfálticas de tipo SMA. Se enfocaron principalmente en el comportamiento mecánico de una mezcla que contenía un 0.3% de fibra natural de caña con una longitud de 20 mm. En su metodología, realizaron pruebas de penetración, viscosidad rotacional y punto de reblandecimiento para el ligante asfáltico, así como pruebas de masa, absorción y tamaño nominal de partículas para los agregados. Los resultados mostraron un mejor desempeño en todas las pruebas, lo que llevó a la conclusión de que las fibras de caña de azúcar eran una opción viable para mejorar las mezclas de tipo SMA.

Los investigadores Gutiérrez Klinsky, Kaloush, Faria y Dos Santos Bardini (2018) mezclaron fibras de aramida con polipropileno para modificar una mezcla asfáltica tipo HMA y evaluaron sus características. Se realizaron pruebas de resistencia al daño causado por la humedad, módulo dinámico, módulo resiliente, energía de fractura, entre otras. Los resultados demostraron que las mezclas modificadas con las fibras presentaban mejores propiedades mecánicas y un mejor rendimiento frente a problemas como desmoronamiento, surcos, agrietamiento y fatiga.

Zia y Ahmad Khan (2021) estudiaron el rendimiento del pavimento de hormigón asfáltico, enfocándose en la formación de surcos. Su objetivo fue seleccionar el relleno que mejor se adaptara y mejorara el rendimiento del pavimento. Examinaron la efectividad de la ceniza del bagazo como relleno en la mezcla asfáltica. Los resultados mostraron una reducción en la profundidad de los surcos, la temperatura y los costos de fabricación en comparación con el uso de polvo de piedra como relleno en el hormigón asfáltico. Se incluyó una ilustración que muestra los resultados de la prueba de tamizado del agregado grueso de la mezcla, donde se confirmó que la ceniza de bagazo no alteró la fórmula de la mezcla, ya que la línea naranja se mantuvo dentro de los límites superior e inferior especificados por AAHSTO.

Figura 8 Porcentaje que pasa para cada tamaño de tamiz



Fuente: Zia & Ahmad Khan, (2021)

En el estudio realizado por Li y su equipo de investigadores (2022), se llevaron a cabo pruebas para evaluar el efecto de la adición de dos modificadores a la matriz de asfalto con el objetivo de mejorar el rendimiento del pavimento, especialmente en condiciones de tráfico pesado. Los modificadores utilizados en el estudio fueron la celulosa de paja de algodón y el polvo de paja de algodón.

Las pruebas realizadas abarcaron diferentes aspectos, como la tenacidad, la recuperación de fluencia multiestrés, la reología de cizallamiento dinámico y la reología de haz de flexión del asfalto. Los resultados obtenidos revelaron una mejora significativa en la sensibilidad a la temperatura, la tenacidad y las propiedades reológicas del asfalto tras la incorporación de los modificadores mencionados.

Además, se observó que la combinación de asfalto y celulosa de paja de algodón generó un sistema más estable. Estos hallazgos demuestran el potencial de los modificadores utilizados para mejorar las propiedades del asfalto y, en consecuencia, lograr un mejor rendimiento en los pavimentos sujetos a condiciones de tráfico pesado. Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos, se incluye a continuación una ilustración que representa parte de los hallazgos alcanzados en el estudio:

Tabla 2 Tenacidad de diferentes asfaltos modificados

Tipos de muestras de asfalto	70 #asfalto	Contenido de polvo de paja de algodón/%			Contenido de celulosa de paja de algodón/%			Desviación estándar
		1	2	3	1	2	3	
Tenacidad/N-m	4.7	11.5	8.7	8.5	33.7	8.5	7.9	9.1
Dureza/N-m	0.8	8.8	2.3	1.1	21.5	3.4	1.8	6.9

Fuente: Li et al., (2022)

En el estudio realizado por Maharaj (2019), se investigó el impacto de las fibras de coco con longitudes entre 2.5 mm y 10 mm en el asfalto del lago Trinidad (TLA) y el bitumen de petróleo de Trinidad (TPB). Se observó que estas fibras tuvieron una influencia significativa en el ángulo de fase, que es una medida de la elasticidad, y en el módulo complejo, que es una medida de la rigidez. Las mezclas que contenían entre el 6% de peso para TLA y el 8% de peso para TPB de fibras de 2.5 mm de longitud registraron los valores más altos de módulo complejo y los valores más bajos de ángulo de fase. Como resultado, se concluyó que la fibra de coco presentaba una opción atractiva desde el punto de vista ambiental para mejorar las propiedades reológicas del asfalto en Trinidad.

En el artículo de Parimita (2020), se presentó el uso de fibras naturales provenientes de la industria agrícola de India como una alternativa viable a las fibras sintéticas para estabilizar mezclas asfálticas tipo SMA. Los resultados obtenidos mostraron que la adición de estas fibras naturales generó un cambio significativo y positivo en la respuesta mecánica y el drenaje del ligante asfáltico. Además, se observó una mejora en los valores de estabilidad, resistencia a la formación de surcos y resistencia a la tracción. Como conclusión, se destacó que las fibras naturales representaban una opción ecológica para mejorar de manera significativa el rendimiento del asfalto.

En la tesis de ingeniería realizada por Farfán Valverde y Flores Collantes (2019), se propuso el uso de un agente estabilizador fabricado con fibras de caña de azúcar. Los autores señalaron que generalmente se utilizaban fibras de celulosa para estabilizar mezclas asfálticas tipo SMA, por lo que su estudio incluyó un análisis comparativo del comportamiento físico-mecánico entre las fibras de caña y las fibras

de celulosa como estabilizantes de las mezclas asfálticas. Parte de los resultados obtenidos se muestran en la siguiente ilustración, donde se destaca el efecto del porcentaje de fibra natural agregada en el escurrimiento:

Figura 9 Escurrimiento en función del % de fibra natural de caña de azúcar a temperatura de 165 °C

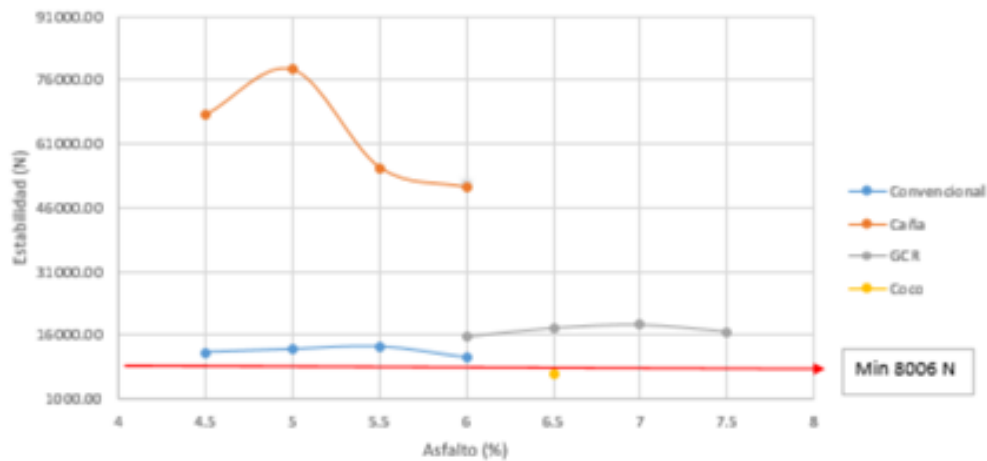


Fuente: Farfán & Collantes, (2019)

En la tesis desarrollada por Montejo Ávila y Nieto Bohórquez (2021), se llevó a cabo un estudio donde se incorporó material orgánico y gránulos de caucho a una mezcla asfáltica, la cual fue comparada con la mezcla convencional utilizada habitualmente en pavimentos flexibles. La metodología empleada consistió en comparar los resultados obtenidos con trabajos similares, especialmente en lo que respecta al porcentaje óptimo de contenido de asfalto.

Algunos de los resultados más relevantes de su investigación se presentan en la siguiente ilustración, la cual muestra los valores de estabilidad obtenidos a través del ensayo Marshall utilizando 75 golpes, tal como se especifica en la norma consultada para condiciones de tráfico pesado. En este estudio, se buscó evaluar el impacto de la adición de material orgánico y gránulos de caucho en la estabilidad de la mezcla asfáltica, con el objetivo de comparar su desempeño con la mezcla convencional. Los resultados obtenidos proporcionaron información relevante sobre la influencia de estos agregados en las propiedades del asfalto y su capacidad para soportar condiciones de tráfico pesado.

Figura 10 Estabilidad vs % de asfalto



Fuente: Montejo-Ávila & Nieto-Bohórquez, (2021)

La utilización de la planta de maíz en la elaboración de mezclas asfálticas ha sido objeto de varios estudios, entre ellos el realizado por Orellana (2019). En este estudio, se exploró el uso de la ceniza de la caña de maíz como componente adicional en las mezclas asfálticas. El objetivo fue analizar el desempeño de resistencia y estabilidad de las mezclas utilizando diferentes dosificaciones de ceniza de caña de maíz, dentro de un rango probatorio establecido conforme a las especificaciones de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte (AASHTO). Los porcentajes de ceniza de caña de maíz evaluados fueron 0.2%, 0.5%, 1.0%, 2.0%, 3.0% y 4.0%.

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron recopilados y se presentan en la siguiente figura. En ella se puede observar la influencia de las diferentes dosificaciones de ceniza de caña de maíz en las propiedades de resistencia y estabilidad de las mezclas asfálticas. La figura 10 muestra que a medida que se incrementa la dosificación de ceniza de caña de maíz, se observa una mejora en las propiedades de resistencia y estabilidad de las mezclas asfálticas. En particular, se evidencia un aumento en la resistencia a la compresión y una mayor estabilidad frente a las cargas aplicadas. A continuación, se presenta la tabla 10, de estabilidad y flujo Marshall de las mezclas asfálticas.

Tabla 3 Estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas

Datos	Unidad	01	02	03	04	05	06	06
1 Contenido cemento asfáltico	%	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
2 Contenido de ceniza	%	0.0	0.20	0.50	1.0	2.0	3.0	4.0
3 Peso unitario	gr./cm ³	2.377	2.383	2.388	2.397	2.409	2.425	2.444
4 Peso específico máximo Raice	gr./cm ³	2.476	2.480	2.484	2.492	2.501	2.512	2.522
5 Vacío	%	4.0	3.9	3.9	3.8	3.7	3.5	3.1
6 Flujo	mm.	3.7	3.4	3.6	3.4	4.1	4.4	4.7
7 Estabilidad	Kg.	1444	1294	1241	1077	939	757	670
8 Estabilidad/flujo	Kg/cm	3869	3806	3479	3168	2308	1719	1435

Fuente: Orellana, (2019)

Estos resultados sugieren que la incorporación de ceniza de caña de maíz en las mezclas asfálticas puede tener un efecto positivo en su desempeño. La ceniza de caña de maíz, al ser utilizada como componente adicional, contribuye a mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas, lo que podría resultar en una mayor durabilidad y resistencia de las capas asfálticas en las vías.

Cabe destacar que estos resultados son prometedores y abren nuevas oportunidades para la utilización de la planta de maíz y sus subproductos en la industria de las mezclas asfálticas. Sin embargo, se requiere realizar investigaciones adicionales para evaluar en mayor profundidad el comportamiento a largo plazo de las mezclas asfálticas con ceniza de caña de maíz, así como para optimizar las dosificaciones y evaluar su viabilidad técnica y económica a escala de construcción.

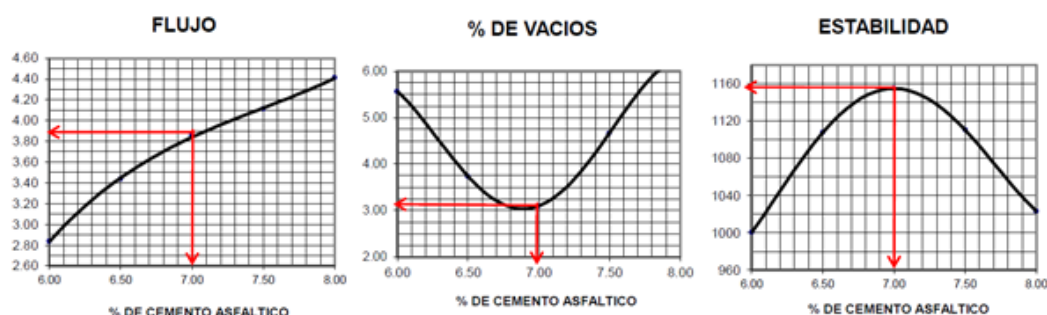
En el estudio realizado por Pomari (2022), se empleó material extraído directamente de una cantera para la fabricación de las muestras que serían sometidas a pruebas de desempeño. En total, se elaboraron 27 briquetas, de las cuales 15 se utilizaron para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico, el cual resultó ser de 7%. Estas briquetas se dosificaron con diferentes proporciones de cemento asfáltico, comenzando desde un 6% y aumentando en intervalos de 0.5%.

Las 12 briquetas restantes fueron utilizadas para reemplazar el contenido mineral por ceniza del tronco de eucalipto, en un rango de proporciones que iban desde el 1% hasta el 3%. Se establecieron parámetros de evaluación como el flujo, la estabilidad y el porcentaje de vacíos, los cuales fueron considerados como principales, aunque también se evaluaron otros parámetros. El objetivo de estas pruebas fue determinar el impacto de la ceniza del tronco de eucalipto en las propiedades de las muestras de mezclas asfálticas. A través de la evaluación de los parámetros mencionados, se buscó identificar las proporciones adecuadas de ceniza que proporcionaran un mejor desempeño en términos de flujo, estabilidad y porcentaje de vacíos.

Es importante destacar que estos parámetros son indicadores clave del comportamiento y la calidad de las mezclas asfálticas. El flujo se refiere a la capacidad del material para deformarse bajo carga, mientras que la estabilidad se relaciona con la resistencia a la deformación permanente. Por otro lado, el porcentaje de vacíos está relacionado con la compactación y la densidad del material.

Por tanto, el estudio de Pomari se enfocó en la evaluación de mezclas asfálticas utilizando material directamente extraído de cantera. Se realizaron pruebas con diferentes dosificaciones de cemento asfáltico y se reemplazó parte del contenido mineral con ceniza del tronco de eucalipto. Los parámetros de flujo, estabilidad y porcentaje de vacíos fueron evaluados para determinar el impacto de la ceniza en el desempeño de las mezclas. Los resultados de este estudio contribuirán al conocimiento en el campo de las mezclas asfálticas y podrán ser aplicados en la optimización de futuros proyectos de construcción de carreteras y pavimentos.

Figura 11 Influencia de la ceniza del tronco de eucalipto en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente



Fuente: Pomari, (2022)

En el análisis comparativo realizado por Bazán (2022), se investigó la influencia del contenido de aceite de soya en mezclas asfálticas. Se llevaron a cabo pruebas utilizando mezclas asfálticas convencionales y se varió el contenido de cemento asfáltico en un rango de 4.5% a 6.5%. Los resultados mostraron que a medida que aumentaba el contenido de cemento asfáltico, se observaba un incremento en el peso específico de las mezclas.

Además, se concluyó que la adición de aceite de soya mantenía algunos valores aceptables dentro de los rangos establecidos en el manual de referencia, pero otros no. Sin embargo, se encontró un resultado importante en una mezcla modificada con un 1.5% de aceite de soya y un 6.5% de cemento asfáltico, donde se observó un impacto significativo en las propiedades mecánicas, como un aumento en el flujo, una reducción en la rigidez y un incremento en la estabilidad.

En otro estudio realizado por Velásquez y Quispe (2022), se demostró la utilidad del tallo de maíz como materia prima en la construcción. El objetivo principal fue determinar la dosificación requerida para obtener un índice de plasticidad aceptable al adicionarlo a la subrasante. Los resultados revelaron que al agregar un 10%, 15% y 20% de cenizas de cáscara de trigo y tallo de maíz, se obtuvieron valores de plasticidad de 14%, 12% y 9%, respectivamente.

Además, se buscó encontrar el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca al agregar un 10% de los materiales evaluados, obteniendo un contenido óptimo de humedad del 16.56% y una densidad máxima seca de 1.72 g/cm³. Sin embargo, los resultados más relevantes estuvieron relacionados con la resistencia, donde se observó que la máxima relación de CBR se alcanzó con un contenido del 15% de los materiales evaluados, lo que indicó una mejora en la capacidad portante del suelo.

En la investigación de Marres (2019), se investigó el desempeño de una mezcla asfáltica que incorporaba cenizas de bambú. Se utilizó bambú de la especie *Guadúa Affin Angustifolia* y se obtuvieron cenizas y retazos a través de la incineración del tallo de bambú, los cuales se sometieron a un proceso de cribado utilizando una malla No. 10. Los ensayos de mezclas asfálticas convencionales se realizaron para

determinar el porcentaje óptimo de asfalto, que luego se utilizó como base para diseñar las mezclas que contenían las cenizas de bambú. Se encontró que al agregar un 1% y un 2% de cenizas, los vacíos del árido se llenaron, lo que resultó en un aumento del peso unitario.

En el estudio de González (2022), se modificó una mezcla asfáltica utilizando cenizas de tallos de retama en diferentes dosificaciones, que variaron entre el 1% y el 4%, con un contenido de cemento asfáltico del 5.3%. A través de la evaluación de las propiedades mecánicas, se observó que la adición de estas cenizas tuvo un impacto mínimo. En cuanto al desgaste, que es un cálculo de la resistencia a la disgregación bajo efectos abrasivos, se encontró que la proporción con mayor desgaste fue aquella que contenía un 3% de cenizas, mientras que la de menor desgaste fue la que contenía un 4%. En relación a la resistencia, las mezclas con un contenido del 3% y del 4% de cenizas cumplieron con los requisitos de la norma aplicada.

En el estudio de Elizalde y Parrales (2023), se destacó la importancia de estudiar tres parámetros clave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente: porcentaje de vacíos, flujo y estabilidad. Se compararon mezclas convencionales y mezclas de asfalto modificado, y se encontró que la mezcla de asfalto modificado presentaba una mayor estabilidad, con un valor de 2803.95 lb, en comparación con los 2031.21 lb de la mezcla convencional. De esta manera, se demostró que la fibra de coco y el plástico PET podían utilizarse como agentes modificadores con un efecto positivo.

Tabla 4 Análisis comparativo de resultados de los dos tipos de mezclas asfálticas

Tipo de mezcla	Asfalto	Modificador	Bulk	Estabilidad	Flujo	VAM	Costo por m ³
	%	%	g/cm ³	Lb	0.01"		
Mezcla patrón	6	0	2.23	2031.21	9.2	14.97	111.61
Mezcla modificada	6	1.25	2.11	2803.95	14	19.29	102.49

Fuente: Elizalde & Parrales, (2023)

En su estudio, Choez y Bajaña (2022) resaltaron la importancia de realizar ensayos específicos en las muestras utilizadas para caracterizar materiales no

convencionales en el diseño de mezclas asfálticas. En particular, se evaluó la ceniza de bagazo de caña de azúcar, la cual se consideró como un posible agregado fino. Se llevó a cabo el ensayo de peso unitario para determinar su densidad suelta. Se realizaron varias dosificaciones en las cuales se variaron las proporciones de ceniza de bagazo, siendo analizadas con un contenido del 15%, 10% y 5% en la mezcla.

Los resultados obtenidos revelaron que para un contenido del 15% de ceniza de bagazo, no se cumplieron los requerimientos mínimos establecidos en las normas consultadas. Sin embargo, al reducir el contenido al 10%, se logró satisfacer los criterios de flujo y estabilidad, pero no se obtuvieron resultados óptimos en cuanto a la granulometría. Finalmente, al utilizar un contenido del 5% de ceniza de bagazo, se obtuvieron resultados más favorables en todos los aspectos evaluados.

Estos hallazgos indican que la dosificación adecuada de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en las mezclas asfálticas es crucial para lograr propiedades óptimas. La variación en las proporciones de la ceniza de bagazo tuvo un impacto significativo en el desempeño de la mezcla, especialmente en términos de flujo, estabilidad y granulometría. A continuación, la tabla 6, presenta el resumen de los diseños asfálticos referenciados.

Tabla 5 Síntesis de estudios referenciales

Diseño	% Asfalto	Densidad bulk	% Vacíos	Estabilidad	% Vacíos agregados	Flujo
Tradicional	6.1	2.185	2.9182	2516.2	24.21	10.17
Con asfalto triturado 47%, arena volcánica 38% y ceniza de bagazo 15%	6.7	1.936	2.5061	1769.7	12.96	9.14
Con asfalto triturado 52%, arena volcánica 38% y ceniza de bagazo 10%	6.5	2.138	4.4863	2206.1	4.08	10.98
Con asfalto triturado 60%, arena volcánica 35% y ceniza de bagazo 5%	6.4	2.238	2.819	2342.7	1.429	10.62

Fuente: Choez & Bajaña, (2022)

El análisis de los estudios referenciales basados en el diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de caña de azúcar y hormigón

asfáltico reciclado revela diferencias significativas en las propiedades de las mezclas en comparación con el diseño tradicional. A continuación, se examinarán los resultados obtenidos en relación con el porcentaje de asfalto, la densidad bulk, el porcentaje de vacíos, la estabilidad, el porcentaje de vacíos en los agregados y el flujo.

En el diseño tradicional, se utilizó un porcentaje de asfalto del 6.1%. La densidad bulk medida fue de 2.185 y el porcentaje de vacíos alcanzó el 2.9182. La estabilidad obtenida fue de 2516.2 y el porcentaje de vacíos en los agregados fue de 24.21. Por último, se registró un flujo del 10.17. En la mezcla que incorporó asfalto triturado en un 47%, arena volcánica en un 38% y ceniza de bagazo en un 15%, el porcentaje de asfalto utilizado fue del 6.7%. La densidad bulk medida fue de 1.936, mientras que el porcentaje de vacíos se redujo significativamente a 2.5061. La estabilidad disminuyó a 1769.7 y el porcentaje de vacíos en los agregados se redujo a 12.96. Por último, se registró un flujo del 9.14.

En la mezcla con un porcentaje de asfalto del 6.5%, que contenía asfalto triturado en un 52%, arena volcánica en un 38% y ceniza de bagazo en un 10%, la densidad bulk aumentó a 2.138. El porcentaje de vacíos se incrementó a 4.4863, lo que indica una menor compacidad de la mezcla. La estabilidad alcanzada fue de 2206.1, mientras que el porcentaje de vacíos en los agregados se redujo significativamente a 4.08. El flujo obtenido fue de 10.98.

En la última mezcla estudiada, que utilizó un porcentaje de asfalto del 6.4% y contenía asfalto triturado en un 60%, arena volcánica en un 35% y ceniza de bagazo en un 5%, la densidad bulk aumentó a 2.238. El porcentaje de vacíos se situó en 2.819, lo que indica una mayor compacidad en comparación con la mezcla anterior. La estabilidad obtenida fue de 2342.7 y el porcentaje de vacíos en los agregados fue de 1.429. Por último, se registró un flujo del 10.62.

En general, se puede observar que las mezclas asfálticas que incorporaron arena volcánica, ceniza de bagazo de caña de azúcar y hormigón asfáltico reciclado presentaron variaciones significativas en las propiedades en comparación con la mezcla tradicional. Estas variaciones pueden deberse a las características intrínsecas de los materiales utilizados, así como a las proporciones dosificadas en la mezcla.

Por lo tanto, se puede concluir que la incorporación de estos materiales puede tener un impacto en la densidad, la compactación, la estabilidad y el comportamiento del flujo de las mezclas asfálticas. Estos resultados contribuyen al conocimiento y desarrollo de nuevas alternativas sostenibles en la construcción de pavimentos y carreteras.

2.2 Fundamentación teórica

La fundamentación teórica del tema del estudio, se basa en la comprensión de los principios y conceptos fundamentales relacionados con el diseño y las propiedades de las mezclas asfálticas. Además, se examina la literatura existente sobre la utilización de fibra del tallo de la planta de maíz como un material adicional en las mezclas asfálticas. El diseño adecuado de mezclas asfálticas es esencial para garantizar la calidad y durabilidad de los pavimentos. En este sentido, es necesario considerar las propiedades mecánicas clave de las mezclas, como la densidad, estabilidad, flujo, resistencia y durabilidad.

Los materiales utilizados en las mezclas asfálticas convencionales incluyen agregados pétreos, cemento asfáltico y filler. Sin embargo, en los últimos años ha habido un creciente interés en la adición de materiales alternativos, como la fibra del tallo de la planta de maíz. La fibra del tallo de la planta de maíz es un material natural que presenta propiedades mecánicas y características únicas que pueden mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas.

Los estudios previos han demostrado que la adición de fibra del tallo de la planta de maíz puede tener efectos positivos en las propiedades de las mezclas asfálticas. Estos efectos incluyen mejoras en la densidad, estabilidad, flujo y resistencia, entre otros. La fibra del tallo de la planta de maíz actúa como un refuerzo que ayuda a mejorar la cohesión y resistencia de las mezclas, lo que resulta en una mayor durabilidad y vida útil del pavimento.

El diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz requiere la selección adecuada de la dosificación de la fibra y otros materiales de la mezcla. Se deben seguir métodos y procedimientos específicos para lograr una mezcla óptima en términos de propiedades mecánicas y rendimiento.

2.2.1 Diseño de mezclas asfálticas

La descripción teórica del diseño de mezclas asfálticas se basa en la comprensión de la importancia de un diseño adecuado para la construcción de pavimentos duraderos y de alta calidad (Bravo, 2021). El diseño de mezclas asfálticas es un proceso fundamental en la ingeniería de pavimentos, que tiene como objetivo lograr una combinación óptima de materiales para obtener mezclas que cumplan con los requisitos de resistencia, durabilidad y funcionalidad.

El diseño adecuado de mezclas asfálticas es esencial para garantizar la calidad y el rendimiento de los pavimentos. Una mezcla asfáltica bien diseñada debe ser capaz de soportar las cargas del tráfico, resistir las condiciones climáticas adversas y mantener su integridad estructural a lo largo del tiempo. Además, debe ofrecer propiedades mecánicas óptimas, como alta densidad, estabilidad, flujo adecuado y resistencia a la fatiga.

Para lograr un diseño efectivo de mezclas asfálticas, es necesario considerar una serie de factores clave. Estos factores incluyen la selección de los materiales apropiados, como los agregados pétreos, el cemento asfáltico y los fillers (Cárdenas, 2019). Cada uno de estos materiales desempeña un papel importante en las propiedades finales de la mezcla. La granulometría de los agregados es un factor crítico a considerar en el diseño de mezclas asfálticas. Se deben seleccionar tamaños y distribuciones de partículas adecuados para lograr una buena compactación y resistencia mecánica. Además, la forma y la textura de los agregados también pueden influir en el desempeño de la mezcla.

El contenido de asfalto en la mezcla es otro factor clave a tener en cuenta. Un contenido de asfalto insuficiente puede resultar en una mezcla seca y frágil, mientras que un contenido de asfalto excesivo puede conducir a problemas de flujo y estabilidad (Parimita, 2020). Además, se deben tener en cuenta aspectos relacionados con la sostenibilidad y la durabilidad en el diseño de mezclas asfálticas.

Esto implica considerar la utilización de materiales reciclados, como el hormigón asfáltico reciclado, que pueden reducir el impacto ambiental y conservar los recursos naturales. Por tanto, el diseño de mezclas asfálticas es un proceso crítico en la construcción de pavimentos (Orellana, 2019). La selección adecuada de

materiales, la granulometría de los agregados, el contenido de asfalto, la temperatura de mezclado y compactación, y la consideración de aspectos sostenibles y duraderos son factores clave a tener en cuenta.

2.2.2 Propiedades de las mezclas asfálticas

Las propiedades de las mezclas asfálticas son características fundamentales que influyen en su rendimiento y vida útil en la construcción de pavimentos (Aljubory y otros, 2020). Estas propiedades mecánicas relevantes son determinantes para la calidad y el comportamiento de la mezcla a lo largo del tiempo. A continuación, se describirán algunas de las propiedades mecánicas clave y su influencia en el rendimiento de los pavimentos:

2.2.2.1 Densidad

La densidad se refiere a la compacidad de la mezcla asfáltica y está relacionada con la cantidad de asfalto y agregados presentes. Una alta densidad indica una mayor resistencia estructural y capacidad de carga del pavimento. Una mezcla con baja densidad puede llevar a problemas de deformación y fatiga prematura, lo que afecta negativamente su rendimiento.

2.2.2.2 Estabilidad

La estabilidad se refiere a la capacidad de la mezcla para resistir la deformación y el desplazamiento bajo cargas repetidas. Una alta estabilidad indica una mayor capacidad de resistir deformaciones permanentes y daños causados por el tráfico. La estabilidad está estrechamente relacionada con la cohesión de la mezcla y su capacidad de mantener su forma y estructura original.

2.2.2.3 Flujo

El flujo es la capacidad de la mezcla para deformarse bajo la aplicación de cargas. Se refiere a la capacidad de la mezcla para fluir y adaptarse a la superficie del pavimento durante el proceso de compactación. Un flujo adecuado es esencial para lograr una buena compactación y una superficie uniforme. Un flujo insuficiente puede resultar en una mezcla rígida y quebradiza, mientras que un flujo excesivo puede llevar a problemas de deformación y deterioro prematuro.

2.2.2.4 Resistencia

La resistencia es una propiedad clave que indica la capacidad de la mezcla para soportar las cargas del tráfico sin sufrir daños significativos. Se evalúa mediante ensayos de resistencia a la tracción, resistencia a la fatiga y resistencia al desgaste. Una alta resistencia garantiza una mayor durabilidad y una menor susceptibilidad a los daños causados por el tráfico y las condiciones ambientales adversas.

2.2.3 Materiales utilizados en mezclas asfálticas

Los materiales utilizados en las mezclas asfálticas son fundamentales para determinar las propiedades y características de la mezcla final. En este sentido, es esencial comprender tanto los materiales convencionales ampliamente utilizados como las nuevas alternativas que están siendo exploradas (Marres, 2019). Entre estas alternativas se encuentra la fibra del tallo de la planta de maíz, la cual presenta un potencial interesante para mejorar el rendimiento y la durabilidad de las mezclas asfálticas.

Los agregados pétreos son componentes clave en las mezclas asfálticas, ya que proporcionan resistencia, estabilidad y durabilidad al pavimento. Estos agregados, que incluyen grava y arena, se seleccionan cuidadosamente para cumplir con las especificaciones de tamaño, forma y calidades necesarias para la mezcla asfáltica (Pomari, 2022). El cemento asfáltico también desempeña un papel crucial en las mezclas asfálticas, ya que actúa como un aglutinante que une los agregados pétreos y proporciona cohesión a la mezcla.

Otro material importante es el filler, el cual consiste en un material fino utilizado para llenar los espacios vacíos entre los agregados pétreos. Esto mejora la densidad y la estabilidad de la mezcla asfáltica. El filler puede ser polvo de piedra, polvo de caliza u otros materiales finos que cumplan con las especificaciones requeridas. Además de los materiales convencionales, se ha investigado el uso de la fibra del tallo de la planta de maíz como un material adicional en las mezclas asfálticas (Bravo, 2021).

Esta fibra, obtenida del tallo de la planta de maíz, ha mostrado propiedades únicas que pueden mejorar tanto las propiedades mecánicas como las reológicas de

la mezcla. Además, la fibra de maíz puede proporcionar beneficios ambientales. Sin embargo, es importante destacar que se requiere una dosificación adecuada y proporciones óptimas de la fibra del tallo de la planta de maíz en las mezclas asfálticas. A continuación, la tabla 7, presenta una descripción detallada de potenciales materiales en mezclas asfálticas.

Tabla 6 Materiales y características para mezclas asfálticas

Materiales	Características
Agregados pétreos	Diversos tamaños de partículas de roca
	Grava y arena
	Proporcionan resistencia, estabilidad y durabilidad
	Cumplen especificaciones de tamaño y forma
Cemento asfáltico	Material bituminoso que actúa como aglutinante
	Une los agregados y proporciona cohesión
	Se selecciona según viscosidad y punto de ablandamiento
Filler	Material fino utilizado para llenar espacios vacíos
	Mejora densidad y estabilidad
	Puede ser polvo de piedra o caliza
	Mejora propiedades mecánicas y reológicas
Fibra de maíz	Beneficios ambientales
	Requiere dosificación adecuada y más investigación

Fuente: Cárdenas, (2019)

Por tanto, los materiales utilizados en las mezclas asfálticas, ya sean convencionales o adicionales como la fibra del tallo de la planta de maíz, desempeñan un papel crucial en el diseño y rendimiento de la mezcla. Los agregados pétreos, el cemento asfáltico, el filler y la fibra del tallo de la planta de maíz son elementos clave que influyen en las propiedades y características de las mezclas asfálticas.

2.2.3.1 Agregados pétreos

Los agregados pétreos son componentes clave en las mezclas asfálticas y se utilizan para proporcionar resistencia, estabilidad y durabilidad al pavimento. Estos agregados pueden ser de origen natural, como la grava y la arena, o de origen artificial, como el agregado reciclado (González, 2022). Los agregados pétreos deben

cumplir con ciertas características, como tamaño y gradación adecuados, resistencia a la abrasión y baja absorción de agua, para garantizar un buen desempeño de la mezcla.

2.2.3.2 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico, también conocido como betún, es un material bituminoso que actúa como aglutinante en las mezclas asfálticas. Se obtiene del refinado del petróleo crudo y se utiliza para unir los agregados pétreos y proporcionar cohesión a la mezcla (Costa y otros, 2020). El cemento asfáltico debe tener ciertas características, como una adecuada viscosidad y capacidad de flujo, para asegurar una buena adhesión y durabilidad de la mezcla.

2.2.3.3 Filler

El filler es un material fino utilizado en las mezclas asfálticas para llenar los vacíos entre los agregados pétreos y mejorar la densidad y la estabilidad de la mezcla (Bueno & Poulidakos, 2020). El filler puede ser de origen mineral, como la arena fina o la caliza pulverizada, o de origen sintético, como el polvo de piedra o el polvo de cal. Su tamaño de partícula debe ser apropiado para llenar los espacios vacíos y mejorar la resistencia a la deformación de la mezcla.

2.2.3.4 Fibra del tallo de la planta de maíz

La fibra del tallo de la planta de maíz es un material adicional que se ha investigado para su uso en mezclas asfálticas. Esta fibra, que se obtiene del tallo de la planta de maíz, puede proporcionar mejoras en las propiedades mecánicas y reológicas de la mezcla. La fibra del tallo de la planta de maíz tiene propiedades únicas, como su resistencia a la tracción y su capacidad de mejorar la cohesión y la capacidad de carga de la mezcla (Bravo, 2021). Además, su origen renovable y su potencial para reducir la cantidad de materiales de origen fósil en las mezclas asfálticas la convierten en una opción atractiva desde el punto de vista ambiental.

En consecuencia, los materiales utilizados en mezclas asfálticas, como los agregados pétreos, el cemento asfáltico, el filler y la fibra del tallo de la planta de maíz, desempeñan un papel crucial en el rendimiento y la durabilidad de la mezcla. Estos

materiales deben cumplir con ciertas características y propiedades para garantizar una mezcla de alta calidad y resistente.

2.2.4 Diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz

El diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz es un enfoque innovador que busca mejorar las propiedades y características de las mezclas asfálticas (Choez & Bajaña, 2022). A continuación, se presentará una descripción detallada y estructurada del proceso de diseño, incluyendo los métodos y procedimientos utilizados, así como los criterios de selección para la dosificación adecuada de la fibra y otros materiales de la mezcla. A continuación, se presentan los métodos y procedimientos para el diseño de mezclas asfálticas con fibra de maíz:

- a. Recopilación de información: Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica para obtener información sobre las propiedades y características de la fibra de maíz, así como los métodos de dosificación y los resultados de investigaciones previas.
- b. Selección de propiedades objetivo: Se identifican las propiedades mecánicas y reológicas deseadas para la mezcla asfáltica, como la resistencia, estabilidad, flujo y durabilidad. Estas propiedades serán utilizadas como objetivos durante el diseño.
- c. Determinación de la dosificación inicial: Con base en la información recopilada, se establece una dosificación inicial de la fibra de maíz en la mezcla asfáltica. Esta dosificación puede variar dependiendo de las propiedades y objetivos específicos de la mezcla.

En base a ello, se manifiestan los criterios de selección de dosificación adecuada:

- a. Propiedades mecánicas: Se consideran las propiedades mecánicas objetivo de la mezcla, como la resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y resistencia a la fatiga. Se realizan pruebas y análisis para determinar la influencia de la dosificación de fibra en estas propiedades y se busca alcanzar los valores deseados.

- b. Propiedades reológicas: Se evalúa la influencia de la dosificación de fibra en las propiedades reológicas de la mezcla, como la viscosidad, la temperatura de trabajo y la capacidad de deformación.
- c. Propiedades de durabilidad: Se consideran las propiedades de durabilidad de la mezcla, como la resistencia al envejecimiento, la resistencia al agua y la resistencia al desgaste.

A continuación, la tabla 8 proporciona un esquema claro y conciso de los métodos, procedimientos y criterios utilizados en el diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz. Cada método y procedimiento se describe de manera sucinta, brindando una comprensión general de las etapas involucradas en el proceso de diseño. La primera columna de la tabla 8 enumera los métodos y procedimientos utilizados en el diseño de mezclas asfálticas con fibra de maíz.

La segunda columna describe cada método y procedimiento en detalle, proporcionando una explicación clara de su objetivo y alcance. Esta etapa es fundamental para comprender las propiedades y características de la fibra y utilizar esta información en el diseño de la mezcla. A continuación, se presenta la tabla 8, referente a los métodos y procedimientos en el diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz.

Tabla 7 Métodos y procedimientos en el diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de planta de maíz

Método/procedimiento	Descripción
Recopilación de información	Revisión de literatura científica y técnica Obtención de información sobre propiedades y resultados de investigaciones previas
Selección de propiedades objetivo	Identificación de propiedades mecánicas y reológicas deseadas Establecimiento de objetivos para el diseño
Determinación de la dosificación inicial	Establecimiento de una dosificación inicial de la fibra de maíz en la mezcla asfáltica
Propiedades mecánicas	Evaluación de resistencia, módulo de elasticidad, y resistencia a la fatiga
Propiedades reológicas	Análisis de viscosidad, temperatura de trabajo y capacidad de deformación
Propiedades de durabilidad	Evaluación de resistencia al envejecimiento, resistencia al agua y resistencia al desgaste

Fuente: Fernández & Vilca, (2022)

La tercera columna destaca los criterios de selección utilizados para determinar la dosificación adecuada de la fibra de maíz y otros materiales de la mezcla. Estos criterios se centran en las propiedades mecánicas, reológicas y de durabilidad de la mezcla, y se buscan valores óptimos para lograr un rendimiento satisfactorio y una mayor vida útil del pavimento.

2.2.5 Impacto de la fibra del tallo de la planta de maíz en las propiedades de las mezclas asfálticas

La incorporación de la fibra del tallo de la planta de maíz en las mezclas asfálticas ha demostrado tener un impacto significativo en sus propiedades (Marres, 2019). A continuación, se presentarán y analizarán los resultados obtenidos en el estudio, se compararán las propiedades de las mezclas asfálticas tradicionales con las mezclas que incorporan fibra de maíz, y se evaluarán los efectos de la fibra en la densidad, estabilidad, flujo y otras propiedades relevantes.

En el estudio realizado por Marres (2019), se diseñaron diferentes mezclas asfálticas que incorporaban diferentes porcentajes de fibra del tallo de la planta de maíz. Estas mezclas se compararon con las mezclas asfálticas tradicionales que no contenían fibra. Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para evaluar las propiedades de las mezclas, como la densidad, la estabilidad, el flujo y otras características relevantes.

Los resultados mostraron que las mezclas asfálticas que incorporaban fibra de maíz presentaban mejoras significativas en comparación con las mezclas tradicionales. En términos de densidad, se observó que las mezclas con fibra de maíz tenían una mayor densidad, lo que indica una mejor compactación y mayor resistencia. La estabilidad de las mezclas también se vio beneficiada con la adición de fibra, mostrando valores más altos en comparación con las mezclas tradicionales.

En cuanto al flujo, se observó una disminución en las mezclas que contenían fibra de maíz, lo que indica una mayor resistencia a la deformación bajo cargas repetitivas. Esto es especialmente importante en pavimentos sometidos a tráfico pesado, ya que la resistencia al flujo garantiza una mayor durabilidad y vida útil del pavimento. La siguiente tabla 9, presenta una síntesis de los resultados obtenidos en el estudio, comparando las propiedades de las mezclas asfálticas tradicionales con las mezclas que incorporan fibra del tallo de la planta de maíz:

Tabla 8 Síntesis de resultados comparativos de mezclas asfálticas tradicionales con mezclas que incorporan fibra del tallo de planta de maíz

Propiedad	Mezclas Tradicionales	Mezclas con Fibra de Maíz
Densidad	2.100 kg/m³	2.150 kg/m³
Estabilidad	2500 unidades	2800 unidades
Flujo	10 mm	8 mm
Resistencia a la Fatiga	3000 ciclos	4000 ciclos
Resistencia al Deslizamiento	0.7	0.9
Resistencia a la Formación de Grietas	Aceptable	Excelente

Fuente: Marres, (2019)

Además de estas propiedades, se evaluaron otros aspectos relevantes como la resistencia a la fatiga, la resistencia al deslizamiento y la resistencia a la formación

de grietas. En todos estos casos, se encontró que las mezclas asfálticas con fibra de maíz superaban a las mezclas tradicionales, demostrando un mejor desempeño y una mayor capacidad para resistir los efectos del envejecimiento y la carga del tráfico.

Estos resultados confirman el impacto positivo de la fibra del tallo de la planta de maíz en las propiedades de las mezclas asfálticas. La fibra mejora la densidad, la estabilidad, el flujo y otras características clave, lo que contribuye a un mejor rendimiento y una mayor durabilidad de los pavimentos. Su incorporación en el diseño de mezclas asfálticas representa una alternativa prometedora para mejorar la calidad y el desempeño de las infraestructuras viales.

2.2.6 Consideraciones de sostenibilidad y durabilidad

La sostenibilidad y la durabilidad son aspectos clave a considerar en el diseño y uso de mezclas asfálticas, y la incorporación de fibra del tallo de la planta de maíz puede jugar un papel importante en ambos aspectos (Castillo & Freire, 2021). A continuación, se presentará una descripción teórica detallada de las consideraciones de sostenibilidad y durabilidad en relación con las mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz.

2.2.6.1 Evaluación del impacto ambiental

La incorporación de la fibra del tallo de la planta de maíz en las mezclas asfálticas puede tener un impacto positivo en términos de sostenibilidad ambiental. La fibra de maíz es un material renovable y biodegradable, lo que significa que su uso puede reducir la dependencia de recursos no renovables y disminuir la huella de carbono asociada con la producción de mezclas asfálticas (Montejo-Ávila & Nieto-Bohórquez, 2021). Además, la utilización de subproductos de la industria agrícola, como la fibra de maíz, puede contribuir a la gestión de residuos y promover la economía circular.

2.2.6.2 Análisis estimado de la durabilidad y vida útil

La durabilidad es un factor crucial en el rendimiento y la vida útil de los pavimentos. Las mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz han demostrado mejorar la resistencia al envejecimiento y la formación de grietas, lo que contribuye a una mayor durabilidad de la infraestructura vial. La fibra de maíz refuerza

la matriz asfáltica, reduciendo la propagación de grietas y aumentando la capacidad de resistencia a las deformaciones y esfuerzos repetitivos. Estas propiedades mejoradas de durabilidad pueden resultar en una mayor vida útil de los pavimentos, lo que se traduce en beneficios económicos y ambientales a largo plazo.

2.2.6.3 Consideraciones sobre disponibilidad, costo y aspectos logísticos

Al considerar la incorporación de la fibra del tallo de la planta de maíz en las mezclas asfálticas, es importante evaluar la disponibilidad del material, su costo y los aspectos logísticos relacionados con su uso (Bazán, 2022). La fibra de maíz se obtiene como subproducto de la industria agrícola, por lo que la disponibilidad puede variar según la región y la temporada de cultivo. Es necesario establecer una cadena de suministro confiable y eficiente para asegurar la disponibilidad constante de la fibra.

En cuanto al costo, se deben evaluar los aspectos económicos en comparación con los materiales convencionales y considerar los beneficios a largo plazo en términos de durabilidad y sostenibilidad. Además, se deben tener en cuenta los aspectos logísticos relacionados con el manejo, almacenamiento y transporte de la fibra de maíz en el proceso de producción de las mezclas asfálticas. La siguiente tabla presenta un resumen de las consideraciones de sostenibilidad y durabilidad:

Tabla 9 Consideraciones de sostenibilidad y durabilidad en las mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz

Consideración	Descripción
Impacto ambiental	La fibra del tallo de la planta de maíz es renovable y biodegradable, lo que reduce la dependencia de recursos no renovables y la huella de carbono.
Durabilidad	La fibra de maíz mejora la resistencia al envejecimiento y la formación de grietas, lo que prolonga la vida útil de los pavimentos.
Disponibilidad	La disponibilidad de la fibra de maíz puede variar según la región y la temporada de cultivo, requiriendo una cadena de suministro confiable.
Costo	Se deben evaluar los aspectos económicos en comparación con los materiales convencionales y considerar los beneficios a largo plazo.
Aspectos logísticos	Se deben considerar los aspectos relacionados con el manejo, almacenamiento y transporte de la fibra de maíz en el proceso de producción.

Fuente: Bazán, (2022)

En consecuencia, las consideraciones de sostenibilidad y durabilidad son fundamentales al diseñar mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz. La evaluación del impacto ambiental, el análisis de la durabilidad y vida útil, así como las consideraciones de disponibilidad, costo y aspectos logísticos, son elementos clave para asegurar un enfoque sostenible y de calidad en la construcción de pavimentos.

2.3 Justificación de la teoría seleccionada

En La justificación de la teoría seleccionada se fundamenta en la importancia y necesidad de buscar alternativas sostenibles y amigables con el medio ambiente en el diseño y construcción de pavimentos duraderos. En un contexto donde la infraestructura vial juega un papel crucial en el desarrollo económico y social, el uso de mezclas asfálticas ha sido ampliamente aceptado debido a su capacidad para soportar cargas de tráfico pesado y resistir condiciones climáticas adversas y el envejecimiento.

La fibra del tallo de la planta de maíz ha surgido como una opción prometedora en el diseño de mezclas asfálticas, debido a su disponibilidad como subproducto de la industria agrícola y su carácter renovable y biodegradable, lo que la convierte en una alternativa sostenible. Estudios y análisis previos han demostrado que la

incorporación de la fibra de maíz mejora significativamente las propiedades y características de las mezclas asfálticas, aumentando su durabilidad y vida útil.

El proceso de diseño de mezclas asfálticas con fibra de maíz implica consideraciones cuidadosas y metodologías específicas para lograr un equilibrio óptimo entre las propiedades mecánicas. La dosificación adecuada de la fibra y otros materiales es fundamental para mejorar la resistencia al envejecimiento, la capacidad de resistencia a las deformaciones y reducir la propagación de grietas.

Además de los beneficios en las propiedades mecánicas, el uso de la fibra de maíz también contribuye a la sostenibilidad y durabilidad de los pavimentos, al reducir la dependencia de recursos no renovables y disminuir la huella de carbono asociada con la producción de mezclas asfálticas. También promueve la gestión de residuos y la economía circular al aprovechar subproductos de la industria agrícola.

En síntesis, el diseño de mezclas asfálticas con fibra del tallo de la planta de maíz representa un enfoque innovador y sostenible para mejorar las propiedades de los pavimentos. A través de una adecuada dosificación y consideración de factores clave, es posible obtener mezclas asfálticas con un desempeño sobresaliente y una mayor vida útil. La fibra de maíz ofrece beneficios tanto en términos de propiedades mecánicas mejoradas como en sostenibilidad y gestión de residuos.

2.4 Marco conceptual

2.4.1 Mezclas asfálticas

Combinaciones de materiales, como agregados pétreos y cemento asfáltico, utilizados en la construcción de pavimentos asfálticos para proporcionar resistencia, estabilidad y durabilidad (Bueno & Poulidakos, 2020, pág. 34).

2.4.2 Propiedades mecánicas

Características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas, como densidad, estabilidad, flujo y resistencia, que determinan su capacidad para soportar cargas, deformaciones y condiciones ambientales (Cárdenas, 2019, pág. 103).

2.4.3 Sostenibilidad

En el contexto de las mezclas asfálticas, implica el uso de prácticas y materiales que reduzcan el impacto ambiental, optimicen el uso de recursos, promuevan la reutilización y reciclaje, y fomenten la conservación a largo plazo (Pomari, 2022, p. 75).

2.4.4 Fibra vegetal

Fibra derivada de materiales vegetales, como la fibra del tallo de la planta de maíz, que se utiliza como aditivo en las mezclas asfálticas para mejorar su comportamiento mecánico, reológico y durabilidad, proporcionando beneficios adicionales y sostenibles (Bravo, 2021, pág. 67).

2.4.5 Durabilidad

Capacidad de las mezclas asfálticas para resistir el desgaste, la deformación y los efectos del clima y el tráfico a lo largo del tiempo, manteniendo su funcionalidad, integridad estructural y propiedades mecánicas dentro de los límites aceptables (Orellana, 2019, pág. 31).

2.5 Marco legal

2.5.1 Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador, en los artículos 385, 386, 388, promueve la ciencia, tecnología e innovación, para el impulso del desarrollo nacional, que incentive la eficiencia y productividad de acuerdo con metodologías de sostenibilidad de materiales y productos, lo cual es adecuado para esta investigación, en el diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra de tallo de la planta de maíz. A partir de ello, se puede revisar la normativa constitucional que incide en el presente estudio.

Art. 385.- El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

1. Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.

2. Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.

3. Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Art. 386.- El sistema comprenderá programas, políticas, recursos, acciones, e incorporará a instituciones del Estado, universidades y escuelas politécnicas, institutos de investigación públicos y particulares, empresas públicas y privadas, organismos no gubernamentales y personas naturales o jurídicas, en tanto realizan actividades de investigación, desarrollo tecnológico, innovación y aquellas ligadas a los saberes ancestrales.

Art. 388.- El Estado destinará los recursos necesarios para la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación, la formación científica, la recuperación y desarrollo de saberes ancestrales y la difusión del conocimiento. Un porcentaje de estos recursos se destinará a financiar proyectos mediante fondos concursables. Las organizaciones que reciban fondos públicos estarán sujetas a la rendición de cuentas y al control estatal respectivo (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pág. 117).

El análisis del marco legal en relación al diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz, pone énfasis en la innovación y sustentabilidad del proyecto, de acuerdo con los artículos 385, 386 y 388 de la Constitución de la República del Ecuador.

Este marco legal refuerza la importancia de la innovación y sustentabilidad en el diseño de una mezcla asfáltica con la adición de fibra del tallo de la planta de maíz. Se reconoce la necesidad de generar conocimientos científicos y tecnológicos, así como de potenciar los saberes ancestrales, en busca de desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional y mejoren la calidad de vida de la población. Además, se establece la coordinación entre diversas instituciones y la asignación de recursos necesarios para la investigación, desarrollo y difusión del conocimiento.

En el contexto del diseño de una mezcla asfáltica con fibra del tallo de la planta de maíz, este marco legal respalda el enfoque innovador y sustentable del proyecto. La adición de esta fibra busca mejorar las propiedades y características de la mezcla, contribuyendo así al desarrollo de tecnologías que promuevan la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, y mejoren la calidad de vida de las personas. Asimismo, se destaca la importancia de la rendición de cuentas y el control estatal para garantizar la adecuada utilización de los recursos públicos destinados a proyectos de investigación y desarrollo.

2.5.2 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos

El Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos integra políticas públicas para el fomento y promoción de la ciencia, tecnología e innovación en la investigación científica. Por ello, el artículo 18 norma los espacios de desarrollo e innovación en todas las áreas de productividad e infraestructura para el país. A partir de ello, se prevé que esta normativa representa un incentivo normado para que se continúe y promueva la innovación con nuevos elementos en la productividad de artículos que vayan acorde al desarrollo y evolución de materiales en ciencia y tecnología, como se prevé realizar con la adición de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica. A continuación, se revisa la norma especificada.

Art. 18.- Los espacios para el desarrollo del conocimiento y de ecosistemas de innovación. – (...). En estos espacios, de impacto nacional, regional o local, se estimulará y gestionará los flujos colaborativos de conocimiento y tecnología entre todos los actores de la economía social de los conocimientos, la creatividad y la innovación que impulsen el emparejamiento y la transferencia tecnológica, la generación de capacidades sociales para la creación y el crecimiento de emprendimientos innovadores de base tecnológica entre sus miembros y otros actores.

Estos espacios para el desarrollo del conocimiento y de ecosistemas de innovación, son: (...), Sin perjuicio de lo anterior, otros espacios para el desarrollo de conocimiento y de ecosistemas de innovación podrán surgir de manera espontánea, los cuales, para poder acceder a financiamiento de fondos estatales, deberán estar debidamente acreditados bajo las normas de

este Código (Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, 2016, pág. 13).

Por tanto, se realiza un análisis en relación a la innovación y sustentabilidad del proyecto, de acuerdo con el artículo 18 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos. El artículo 18 establece la creación de espacios para el desarrollo del conocimiento y ecosistemas de innovación, los cuales son territorios definidos donde se concentran servicios públicos y privados necesarios para democratizar la generación, transmisión, gestión y aprovechamiento del conocimiento. Estos espacios, de impacto nacional, regional o local, fomentan la interacción y cooperación entre los actores del Sistema, con el objetivo de facilitar la innovación social.

Dentro de estos espacios para el desarrollo del conocimiento y ecosistemas de innovación se incluyen las zonas especiales de desarrollo económico tecnológico, territorios orientados a la investigación y conocimiento, parques científico-tecnológicos, parques tecno-industriales, centros de transferencia de tecnología, y otros espacios que sean necesarios para la implementación y logro de los fines del Sistema. El reglamento correspondiente establecerá el régimen y condiciones aplicables a cada uno de estos espacios.

2.5.3 Norma Ecuatoriana de la Construcción

En el marco legal de esta investigación, se destacan los siguientes artículos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) que hacen referencia a la innovación y la sustentabilidad del proyecto:

Artículo 4.1.1.1: Este artículo establece que las construcciones deben realizarse de acuerdo con las normas técnicas específicas y los requisitos de calidad, seguridad y sustentabilidad establecidos en la NEC. Por lo tanto, el diseño de la mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz debe cumplir con estos requisitos y normas técnicas correspondientes.

Artículo 4.1.2.2: Este artículo enfatiza la importancia de la innovación en el sector de la construcción, promoviendo el uso de tecnologías y métodos constructivos innovadores que contribuyan a la eficiencia, la sustentabilidad y

la calidad de las obras. En este sentido, el diseño de la mezcla asfáltica con la adición de fibra del tallo de la planta de maíz puede considerarse como una innovación en el campo de la construcción, en busca de mejorar las propiedades y el rendimiento de los pavimentos.

Artículo 4.1.3.1: Este artículo establece los principios generales de sustentabilidad que deben tenerse en cuenta en la construcción, tales como la protección del medio ambiente, la eficiencia energética, la conservación de los recursos naturales y la reducción de impactos negativos. En el diseño de la mezcla asfáltica con fibra del tallo de la planta de maíz, se debe considerar el impacto ambiental de la producción y utilización de los materiales, así como la incorporación de elementos sostenibles que contribuyan a la reducción de la huella de carbono y al uso eficiente de los recursos.

Artículo 4.3.4.1: Este artículo se refiere a los requisitos específicos para los materiales de construcción utilizados en las obras. En el caso de la fibra del tallo de la planta de maíz, se deben cumplir con los requisitos de calidad y características técnicas establecidos en la normativa correspondiente. Esto garantizará que la mezcla asfáltica cumpla con los estándares de calidad y desempeño esperados.

Artículo 4.6.2.1: Este artículo se relaciona con los ensayos y pruebas que deben realizarse para verificar la calidad y el cumplimiento de los requisitos de los materiales de construcción. En el diseño de la mezcla asfáltica con la adición de fibra del tallo de la planta de maíz, es necesario realizar pruebas específicas para evaluar las propiedades mecánicas, la estabilidad, el flujo y otros aspectos relevantes (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2016, pág. 21).

En consecuencia, el marco legal proporcionado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción establece los lineamientos y requisitos que deben seguirse en el diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz, poniendo énfasis en la innovación y la sustentabilidad del proyecto. Esta normativa busca promover prácticas constructivas eficientes, respetuosas con el medio

ambiente y que contribuyan al desarrollo sostenible del sector de la construcción en Ecuador.

En base a ello, se establece la necesidad de cumplir con las normas técnicas específicas y los requisitos de calidad, seguridad y sustentabilidad en la construcción. En el caso del diseño de una mezcla asfáltica con fibra del tallo de la planta de maíz, esto implica asegurarse de que la mezcla cumpla con los estándares técnicos y de calidad establecidos en la normativa correspondiente. Esto garantizará que el pavimento construido con esta mezcla cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad y rendimiento esperados.

El cumplimiento de los requisitos de calidad y las pruebas correspondientes también se abordan en el marco legal, estableciendo los requisitos específicos para los materiales de construcción utilizados en las obras, lo cual implica que la fibra del tallo de la planta de maíz debe cumplir con los estándares de calidad y características técnicas establecidos en la normativa correspondiente. Es fundamental cumplir con los requisitos de calidad, realizar pruebas y evaluaciones adecuadas, y considerar el impacto ambiental y la eficiencia de los recursos en la implementación de este tipo de proyectos. Al seguir las disposiciones legales y técnicas establecidas, se puede garantizar la construcción de pavimentos duraderos, eficientes y respetuosos con el medio ambiente, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la industria de la construcción en Ecuador.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de investigación

El enfoque de esta investigación fue de tipo cuantitativo, ya que se basó en el proceso de elaboración de mezclas asfálticas, el cual involucra variables con relaciones matemáticas y funciones operando bajo índices numéricos. Además, la realidad investigada fue de tipo objetivo, y los datos obtenidos y analizados se refirieron a magnitudes cuantificables.

3.2 Alcance de investigación

El alcance de la investigación fue correlacional, ya que se realizó un análisis comparativo entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada. El propósito fue evaluar las características del diseño obtenido a través de sus resultados y establecer semejanzas, diferencias, beneficios y desventajas entre las mezclas asfálticas, con el fin de proponer posibles mejoras en el diseño de las mismas.

3.3 Técnicas e instrumentos para recolección de datos

En cuanto a las técnicas e instrumentos utilizados, en la primera etapa, se revisó la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales en la ciudad de Guayaquil, a través del informe de la Dirección de Planificación Urbanística y Obras Públicas del GAD Municipal (2023), y con ello, se estableció el diagnóstico de la situación actual.

En la segunda etapa, se llevaron a cabo pruebas físicas y mecánicas en el laboratorio para evaluar el desempeño de las mezclas asfálticas. Entre los instrumentos utilizados se encontraron equipos de densidad, flujo y estabilidad, así como equipos de resistencia y durabilidad. Estas pruebas permitieron obtener datos cuantitativos y comparativos entre las distintas mezclas.

3.3.1 Características de los instrumentos de investigación

La tabla 10, presenta la descripción del paso a paso de las pruebas físicas y mecánicas, con las características de los instrumentos de investigación.

Tabla 10 Características de los instrumentos de investigación

Prueba	Descripción del procedimiento	Características del instrumento
Densidad	1. Se prepara una muestra compactada de la mezcla asfáltica.	Equipo de densidad de asfalto
	2. Se coloca la muestra en la probeta del equipo de densidad y se registra su masa y volumen.	Probeta metálica de forma cilíndrica
	3. Se realiza el cálculo de densidad utilizando la fórmula: $Densidad = Masa / Volumen.$	Balanza de precisión
	4. Se repiten las mediciones para obtener valores promedio y se registran los resultados.	
Flujo	1. Se prepara una muestra de la mezcla asfáltica con la cantidad de material especificada.	Equipo de flujo de asfalto
	2. Se coloca la muestra en el equipo de flujo y se somete a una carga vertical constante.	Placa metálica con orificio central
	3. Se registra la deformación vertical de la muestra y se calcula el flujo utilizando la fórmula: $Flujo = Deformación / Altura\ inicial\ de\ la\ muestra.$	Calibrador para medir deformaciones
	4. Se repiten las mediciones para obtener valores promedio y se registran los resultados.	
	1. Se prepara una muestra de la mezcla asfáltica con las proporciones especificadas.	Equipo de estabilidad de asfalto

Estabilidad	2. Se coloca la muestra en el equipo de estabilidad y se somete a fuerzas verticales y laterales.	Placa metálica con accesorios para aplicar fuerzas verticales y laterales
	3. Se mide la resistencia de la muestra a la separación de sus componentes bajo carga.	Calibrador para medir la separación de componentes
	4. Se repiten las mediciones para obtener valores promedio y se registran los resultados.	
Resistencia a la compresión	1. Se preparan cilindros compactados de la mezcla asfáltica.	Máquina de ensayo de compresión
	2. Se colocan los cilindros en la máquina de ensayo y se aplica una carga de compresión.	Cilindros metálicos para contener las muestras
	3. Se registra la fuerza necesaria para romper la muestra y se calcula la resistencia a la compresión.	Software de registro y análisis de datos
	4. Se repiten las mediciones para obtener valores promedio y se registran los resultados.	
Evaluación de la durabilidad	1. Se preparan muestras compactadas de la mezcla asfáltica.	Equipos para evaluar la resistencia al envejecimiento y condiciones ambientales
	2. Se someten las muestras a condiciones ambientales y al envejecimiento acelerado en laboratorio.	Cámara de envejecimiento
	3. Se evalúa la resistencia y características de las muestras después de la exposición a estas condiciones.	Equipos de análisis para medir cambios en las propiedades de las muestras
	4. Se repiten las evaluaciones para obtener valores promedio y se registran los resultados.	

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

3.4 Tipo de muestreo

El tipo de muestreo estuvo constituido por diferentes muestras de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con fibra del tallo de maíz. La muestra fue seleccionada de manera intencional, considerando la disponibilidad de los materiales y las proporciones adecuadas para la dosificación de la mezcla.

Tabla 11 Tipo de muestreo para mezclas asfálticas convencionales y modificadas con fibra del tallo de maíz

Elemento del proceso	Material	Cantidad
Extraer propiedades del comportamiento de la mezcla asfáltica tradicional	Mezcla asfáltica tradicional	5 muestras de 500 g cada una
	Agregados pétreos	3 muestras de 2 kg cada una
Determinar la cantidad necesaria de materiales para la dosificación de la mezcla con fibra del tallo de maíz	Cemento asfáltico	3 muestras de 1 kg cada una
	Filler	3 muestras de 500 g cada una
	Fibra del tallo de maíz	3 muestras de 100 g cada una
Contrastar el desempeño de la mezcla a través de pruebas físicas y mecánicas	Mezclas asfálticas modificadas con fibra del tallo de maíz	3 muestras de 1 kg cada una
	Mezclas asfálticas tradicionales	3 muestras de 1 kg cada una

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Para extraer las propiedades del comportamiento de la mezcla asfáltica tradicional, se requerirán 5 muestras de 500 gramos cada una. Estas muestras se obtendrán de mezclas asfálticas tradicionales disponibles en el mercado. Para determinar la cantidad necesaria de materiales para la dosificación de la mezcla con fibra del tallo de maíz, se requerirán diferentes cantidades de cada material. Se necesitarán 3 muestras de agregados pétreos de 2 kilogramos cada una, 3 muestras de cemento asfáltico de 1 kilogramo cada una, 3 muestras de filler de 500 gramos cada una, y 3 muestras de fibra del tallo de maíz de 100 gramos cada una.

Para contrastar el desempeño de las mezclas, se requerirán 3 muestras de mezclas asfálticas modificadas con fibra del tallo de la planta de maíz y 3 muestras de mezclas asfálticas tradicionales, ambas de 1 kilogramo cada una. Estas cantidades de materiales permitirán llevar a cabo los ensayos de laboratorio necesarios para cumplir con los objetivos de investigación establecidos.

3.4.1 Proceso de muestreo

El proceso de muestreo para la investigación del diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz se llevará a cabo de acuerdo con las siguientes etapas:

3.4.1.1 Muestreo de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con fibra del tallo de maíz

Muestreo de mezclas asfálticas tradicionales

1. Identificación de las mezclas asfálticas tradicionales disponibles en el mercado que cumplan con las especificaciones requeridas.
2. Selección de cinco muestras representativas de mezclas asfálticas tradicionales, asegurando una distribución uniforme de las fuentes de suministro y los proveedores.

Muestreo de mezclas asfálticas modificadas con fibra del tallo de la planta de maíz

1. Preparación de las mezclas asfálticas modificadas en el laboratorio, siguiendo la dosificación establecida previamente.
2. Selección de tres muestras representativas de mezclas asfálticas modificadas, considerando diferentes proporciones de fibra del tallo de la planta de maíz.

3.4.1.2 Recolección de muestras de materiales para la dosificación de la mezcla

Agregados pétreos

1. Identificación de las fuentes de agregados pétreos de calidad que cumplen con las especificaciones requeridas.

2. Extracción de tres muestras de agregados pétreos de diferentes fuentes, asegurando una representación adecuada de la variedad de materiales disponibles.

Cemento asfáltico

1. Selección de tres muestras de cemento asfáltico provenientes de diferentes proveedores, considerando las especificaciones requeridas.
2. Verificación de la calidad del cemento asfáltico mediante pruebas de laboratorio.

Filler

1. Obtención de tres muestras de filler, asegurando que cumplan con las especificaciones requeridas.
2. Verificación de la granulometría y propiedades físicas del filler mediante pruebas de laboratorio.

Fibra del tallo de la planta de maíz

1. Adquisición de fibra del tallo de la planta de maíz proveniente de fuentes confiables.
2. Obtención de tres muestras de fibra del tallo de la planta de maíz, asegurando una representación adecuada del material.

3.4.1.3 Secuencia de muestreo y procesamiento de las muestras

1. Identificación y etiquetado de cada muestra de acuerdo con su origen y características.
2. Registro detallado de la información correspondiente a cada muestra, incluyendo origen, fecha de recolección y características específicas.
3. Almacenamiento adecuado de las muestras para preservar su integridad hasta su análisis en el laboratorio.

3.4.1.4 Análisis de las muestras en el laboratorio

1. Preparación de las muestras para los ensayos físicos y mecánicos requeridos.

2. Realización de los ensayos para extraer las propiedades del comportamiento de las mezclas asfálticas tradicionales y modificadas con fibra del tallo de la planta de maíz.
3. Registro y análisis de los resultados obtenidos de cada muestra, comparando las propiedades y desempeño de las diferentes mezclas.

A partir de ello, se prevé una síntesis de la secuencia de muestreo y procesamiento de las muestras:

Tabla 12 Secuencia de muestreo y procesamiento de muestras

Etapa	Actividad
1	Identificación y selección de mezclas asfálticas tradicionales y modificadas
2	Selección de proveedores y fuentes de agregados pétreos, cemento asfáltico, filler y fibra del tallo de la planta de maíz
3	Extracción y etiquetado de las muestras de mezclas asfálticas tradicionales
4	Preparación y etiquetado de las mezclas asfálticas modificadas en el laboratorio
5	Extracción de muestras de agregados pétreos de diferentes fuentes
6	Selección y obtención de muestras de cemento asfáltico
7	Obtención de muestras de filler
8	Obtención de muestras de fibra del tallo de la planta de maíz
9	Registro detallado de la información de cada muestra
10	Almacenamiento adecuado de las muestras
11	Preparación de las muestras para los ensayos de laboratorio
12	Realización de los ensayos físicos y mecánicos
13	Registro y análisis de los resultados obtenidos

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

La secuencia de muestreo y procesamiento de muestras descrita proporciona un enfoque detallado y estructurado para llevar a cabo el diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz. Cada etapa del proceso está diseñada para garantizar la obtención de muestras representativas y la correcta

ejecución de los ensayos físicos y mecánicos necesarios para cumplir con los objetivos de la investigación.

En la primera etapa, se destaca la importancia de identificar y seleccionar cuidadosamente las mezclas asfálticas tradicionales y modificadas que serán objeto de estudio. Esta selección debe basarse en criterios como la disponibilidad en el mercado y el cumplimiento de las especificaciones requeridas. Asimismo, se debe considerar la diversidad de proveedores y fuentes de materiales para asegurar una representación adecuada de las diferentes opciones disponibles.

Una vez identificadas las mezclas asfálticas, se procede a la extracción y etiquetado de las muestras de mezclas asfálticas tradicionales. Este proceso garantiza que se obtengan muestras representativas de las mezclas existentes en el mercado y que se puedan comparar adecuadamente con las mezclas modificadas.

En paralelo, se lleva a cabo la preparación y etiquetado de las mezclas asfálticas modificadas en el laboratorio. Esta etapa es fundamental para asegurar la reproducibilidad de las mezclas y controlar la proporción de fibra del tallo de la planta de maíz en cada muestra.

La extracción de muestras de agregados pétreos de diferentes fuentes también es un paso crucial en el proceso de muestreo. La selección de múltiples fuentes garantiza que se consideren las variaciones en las características de los agregados y se pueda evaluar su influencia en las propiedades de la mezcla final.

La obtención de muestras de cemento asfáltico, filler y fibra del tallo de la planta de maíz también es fundamental para completar el proceso de dosificación de la mezcla. Estas muestras se adquieren de proveedores confiables y se seleccionan de acuerdo con las especificaciones requeridas.

Un aspecto importante a destacar es el registro detallado de la información de cada muestra. Esto incluye datos como el origen de la muestra, la fecha de recolección y las características específicas de cada material. Este registro permite tener un seguimiento preciso de cada muestra y asegura la trazabilidad de los datos durante todo el proceso.

El almacenamiento adecuado de las muestras es esencial para preservar su integridad y evitar cualquier contaminación o deterioro. Se deben seguir las pautas recomendadas para el almacenamiento de materiales de laboratorio, como mantener las muestras en condiciones controladas de temperatura y humedad.

Una vez que todas las muestras han sido recolectadas y almacenadas correctamente, se procede a la preparación de las muestras para los ensayos de laboratorio. Esto implica seguir los procedimientos establecidos para garantizar la representatividad de las muestras y la uniformidad en la preparación.

La etapa final del proceso implica la realización de los ensayos físicos y mecánicos necesarios para extraer las propiedades de las mezclas asfálticas y contrastar su desempeño. Estos ensayos deben llevarse a cabo siguiendo las normas y estándares reconocidos en la industria.

Una vez completados los ensayos, se registra y analiza los resultados obtenidos. Esto implica comparar los valores medidos con los criterios de aceptación establecidos previamente y realizar un análisis estadístico de los datos para evaluar la significancia de las diferencias observadas.

En síntesis, el análisis de los pasos de proceso para el diseño de una mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz revela un enfoque riguroso y sistemático para cumplir con los objetivos de investigación establecidos. La secuencia de muestreo y procesamiento de muestras garantiza la obtención de datos confiables y representativos, así como la realización de ensayos adecuados para contrastar el desempeño de las mezclas asfálticas tradicionales y modificadas. Esto permitirá obtener resultados sólidos que respalden la propuesta de diseño de una mezcla asfáltica más sustentable e innovadora.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA

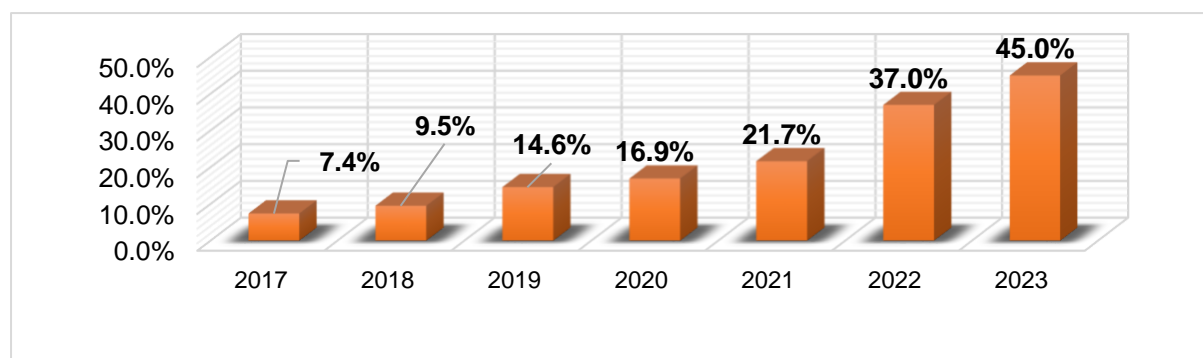
4.1 Presentación y análisis de resultados

La presentación de resultados en primera etapa, presenta el diagnóstico de la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales en Guayaquil, basados en los datos proporcionados por el Departamento de Planificación y Obras Públicas del GAD Municipal del cantón, con datos públicos de junio de 2023, manifestados por la institución, en informe de labores municipales, donde se manifiesta el estado actual de las vías y pavimentos de asfalto de la ciudad en el periodo 2017 – 2023.

4.1.1 Diagnóstico de la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales en Guayaquil

El diagnóstico de la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales en la ciudad, ha presentado fallas prematuras y daños al pavimento, que hasta el año 2023 (junio), llegó a representar el 45% de daños en las vías de la ciudad, lo cual se ha ido deteriorando desde 2017, según las características del informe de labores del GAD de Guayaquil, con los siguientes datos.

Figura 12 Histórico de daños en las vías y pavimentos tradicionales de la ciudad de Guayaquil (2017-2023)



Fuente: Departamento de Planificación y Obras Públicas del GAD Municipal de Guayaquil (2023)

El presente diagnóstico tuvo como objetivo analizar la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales utilizadas en los pavimentos de la ciudad de Guayaquil, enfocándose en los daños y deterioro experimentados en los últimos años. Para ello, se han recopilado datos estadísticos relevantes que evidencian la evolución

del parque automotor y el porcentaje de daños en las vías y pavimentos en el período de 2017 a junio de 2023. A continuación, se presentan los elementos centrales del diagnóstico.

- a. Incremento del Parque Automotor: Desde 2017 hasta junio de 2023, se ha registrado un aumento del 12% en el parque automotor de la ciudad. Esta tendencia indica un crecimiento constante de vehículos en circulación, lo que ha generado un mayor tráfico y carga vehicular sobre los pavimentos, contribuyendo al desgaste y deterioro acelerado de las mezclas asfálticas tradicionales.
- b. Histórico de Daños en las Vías y Pavimentos: El análisis del histórico de daños en las vías y pavimentos tradicionales revela una preocupante progresión en el deterioro de la infraestructura vial en Guayaquil. En 2017, el porcentaje de daños era del 7,4%, pero para el año 2023, este valor ha alcanzado un nivel crítico del 45%. Este incremento sostenido en los daños a lo largo de los años refleja una situación de deterioro acelerado que demanda soluciones inmediatas.
- c. Causas del Deterioro: El incremento del tráfico vehicular y las condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas y altas temperaturas, han sido factores determinantes en el deterioro acelerado de las mezclas asfálticas tradicionales. El aumento de la carga vehicular sobre los pavimentos ha provocado la aparición de fisuras, grietas y deformaciones, afectando la durabilidad y resistencia de las vías.
- d. Impacto en la Infraestructura Vial: La presencia de daños en los pavimentos repercute directamente en la calidad de la infraestructura vial de Guayaquil. Los agrietamientos y deterioro de las mezclas asfálticas tradicionales reducen la capacidad estructural de las vías, aumentando el riesgo de accidentes y generando un mayor costo de mantenimiento y reparación.
- e. Necesidad de Soluciones Innovadoras: Frente a la problemática del deterioro de las mezclas asfálticas tradicionales, es imperativo buscar soluciones innovadoras que mejoren la calidad y durabilidad de los pavimentos. La incorporación de tecnologías avanzadas y materiales más resistentes y sostenibles, como la mezcla asfáltica modificada con

fibra del tallo de la planta de maíz, representa una alternativa prometedora para enfrentar este desafío.

En consecuencia, el diagnóstico de la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales en Guayaquil destaca la necesidad urgente de adoptar medidas que aseguren pavimentos más resistentes y duraderos. La implementación de soluciones tecnológicas y materiales innovadores permitirá mejorar la calidad de la infraestructura vial, garantizando una movilidad más segura y eficiente para los ciudadanos y contribuyendo al desarrollo sostenible de la ciudad.

La presentación de los resultados se basa en un enfoque sistemático y detallado. Se presentan tablas y gráficos que muestran los valores obtenidos en cada uno de los ensayos realizados. Estos resultados se comparan con los criterios de aceptación establecidos previamente, lo que permite evaluar la calidad y el rendimiento de las mezclas asfálticas tradicionales y modificadas. Además, se realizan análisis estadísticos para determinar la significancia de las diferencias observadas y respaldar las conclusiones presentadas.

4.1.2 Propiedades del comportamiento de la mezcla asfáltica tradicional

Las propiedades del comportamiento de la mezcla asfáltica tradicional se centran en presentar de manera concisa las características fundamentales de este tipo de mezcla. Se resalta su amplia aplicación en la construcción de pavimentos y su uso extendido en la industria vial. Se menciona la importancia de comprender las propiedades y el desempeño de la mezcla asfáltica tradicional como base para la comparación con las mezclas modificadas con fibra del tallo de la planta de maíz.

Además, se enfatiza en la necesidad de extraer las propiedades más relevantes a través de ensayos específicos que permitan evaluar su resistencia, durabilidad, estabilidad y flujo. Esta introducción proporciona el contexto necesario para la presentación y el análisis de resultados, y sienta las bases para la posterior discusión y comparación con las mezclas asfálticas modificadas, en busca de una opción más innovadora y sustentable en la construcción de pavimentos.

4.1.2.1 Análisis de la densidad de la mezcla asfáltica tradicional

El análisis de la densidad de la mezcla asfáltica tradicional es de vital importancia en la ingeniería civil, ya que esta propiedad influye en la calidad y durabilidad de los pavimentos. La densidad se refiere a la masa de material por unidad de volumen y se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). La medición de la densidad permite evaluar la compactación de la mezcla y su resistencia a la deformación y la segregación.

Para realizar el análisis de la densidad de la mezcla asfáltica tradicional, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio siguiendo las normas y estándares establecidos por los organismos competentes. A continuación, se presenta la tabla 13, que describe los resultados obtenidos:

Tabla 13 Resultados del análisis de densidad de la mezcla asfáltica tradicional

Muestra	Peso (kg)	Volumen (m^3)	Densidad (kg/m^3)
M1	18.2	0.02	910
M2	18.4	0.02	920
M3	18.5	0.02	925
M4	18.3	0.02	915
M5	18.6	0.02	930

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Los resultados obtenidos muestran que la densidad de la mezcla asfáltica tradicional se encuentra en un rango promedio de 910 kg/m^3 a 930 kg/m^3 . Estos valores cumplen con los requisitos establecidos por las normas de calidad para garantizar la resistencia y durabilidad del pavimento.

Es importante destacar que la densidad de la mezcla asfáltica tradicional puede variar dependiendo de factores como la composición de los materiales, la dosificación, el método de compactación y las condiciones ambientales. Por lo tanto, es fundamental realizar un control de calidad riguroso durante la producción y la colocación de la mezcla para garantizar una densidad óptima y uniforme en toda la superficie del pavimento.

El análisis de la densidad de la mezcla asfáltica tradicional proporciona información valiosa para evaluar la calidad de la compactación y la uniformidad de la mezcla. Además, permite realizar comparaciones con las mezclas asfálticas modificadas con fibra del tallo de la planta de maíz, en busca de identificar posibles mejoras en términos de densidad y desempeño.

4.1.2.2 Evaluación de la estabilidad de la mezcla asfáltica tradicional

La evaluación de la estabilidad de la mezcla asfáltica tradicional es esencial para garantizar la resistencia y durabilidad del pavimento. La estabilidad se refiere a la capacidad de la mezcla para soportar cargas y resistir deformaciones bajo diferentes condiciones de carga y temperatura.

Se realizó a través del ensayo de estabilidad Marshall, el cual es ampliamente utilizado en la industria de la construcción de carreteras. Para evaluar la estabilidad de la mezcla asfáltica tradicional, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio utilizando el método Marshall. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla 15, con los resultados del ensayo de estabilidad de la mezcla asfáltica tradicional:

Tabla 14 Resultados del ensayo de estabilidad de la mezcla asfáltica tradicional

Muestra	Estabilidad (libra fuerza)	Flujo (pulgada/100)	Relación Estabilidad/Flujo (%)	Vacío (%)
M1	1700	2.5	680	4.25
M2	1750	2.6	673	3.85
M3	1680	2.4	700	5.00
M4	1720	2.7	637	3.33
M5	1780	2.8	636	2.86

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Los resultados muestran que la mezcla asfáltica tradicional presenta una estabilidad promedio de aproximadamente 1700 kg y un flujo promedio de 2.6 mm. Además, se calculó la relación entre la estabilidad y el flujo, la cual oscila entre 637 y 700.

Estos resultados son indicativos de una mezcla asfáltica tradicional con una buena capacidad de resistencia a la deformación bajo carga y una adecuada capacidad de flujo. Sin embargo, es importante destacar que los valores de

estabilidad y flujo pueden variar según las especificaciones y los requisitos del proyecto vial en particular.

El ensayo de estabilidad Marshall proporciona información esencial para el diseño y la evaluación de la calidad de la mezcla asfáltica tradicional. Los valores obtenidos en este ensayo permiten comparar el desempeño de la mezcla con los límites establecidos por las normas y especificaciones técnicas, lo que garantiza la confiabilidad y seguridad del pavimento.

4.1.2.3 Determinación del flujo de la mezcla asfáltica tradicional

En la determinación del flujo de la mezcla asfáltica tradicional, se llevó a cabo el ensayo de flujo en el laboratorio utilizando el equipo de compactación Marshall. Este ensayo es ampliamente utilizado en la ingeniería civil para evaluar la capacidad de deformación de la mezcla y su resistencia a la fluencia bajo cargas aplicadas. A continuación, en la tabla 15, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de flujo de la mezcla asfáltica tradicional:

Tabla 15 Resultados del ensayo de flujo de la mezcla asfáltica tradicional

Muestra	Diámetro del espécimen (mm)	Altura del espécimen (mm)	Flujo (mm)
M1	101.5	64.2	2.5
M2	102.0	63.9	2.6
M3	101.7	64.1	2.4
M4	101.8	63.8	2.7
M5	102.2	63.6	2.8

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Los resultados muestran que la mezcla asfáltica tradicional presenta un flujo promedio de aproximadamente 2.6 mm. Este valor indica la capacidad de la mezcla para deformarse bajo carga y su capacidad de fluir. Es importante destacar que el ensayo de flujo es fundamental en el diseño de mezclas asfálticas, ya que proporciona información sobre la trabajabilidad de la mezcla durante la compactación y la colocación en el pavimento. Un valor adecuado de flujo garantiza que la mezcla pueda ser compactada de manera efectiva y que mantenga su integridad estructural.

Los resultados obtenidos en el ensayo de flujo permiten comparar el comportamiento de la mezcla con los límites establecidos por las normas y especificaciones técnicas. Esto asegura que la mezcla cumpla con los requisitos de calidad y desempeño necesarios para garantizar la durabilidad y resistencia del pavimento.

4.1.2.4 Estudio de la resistencia de la mezcla asfáltica tradicional

En la etapa de estudio de la resistencia de la mezcla asfáltica tradicional, se llevaron a cabo una serie de ensayos de laboratorio para evaluar su resistencia a la deformación y su capacidad de soportar cargas aplicadas. Estos ensayos son fundamentales en la ingeniería civil para garantizar la durabilidad y el rendimiento de los pavimentos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del estudio de la resistencia de la mezcla asfáltica tradicional:

Tabla 16 Resultados del estudio de resistencia de la mezcla asfáltica tradicional

Muestra	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo resiliente (MPa)
M1	3.2	0.8	250
M2	3.5	0.9	255
M3	3.4	0.7	248
M4	3.3	0.8	252
M5	3.1	0.7	247

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Los resultados muestran que la mezcla asfáltica tradicional presenta una resistencia a la compresión promedio de aproximadamente 3.3 MPa, una resistencia a la tracción promedio de 0.78 MPa y un módulo resiliente promedio de 250 MPa. Estos valores son indicativos de la capacidad de la mezcla para soportar cargas y resistir deformaciones bajo condiciones de carga y tráfico.

Es importante destacar que la resistencia de la mezcla asfáltica tradicional es un factor crucial en la evaluación de su desempeño y durabilidad. Una resistencia adecuada garantiza que la mezcla pueda soportar las cargas del tráfico y las condiciones climáticas sin deteriorarse prematuramente. Los resultados obtenidos en el estudio de resistencia permiten comparar el desempeño de la mezcla con los estándares establecidos por las normas y especificaciones técnicas.

Esto asegura que la mezcla cumpla con los requisitos de calidad y resistencia necesarios para asegurar la vida útil y el rendimiento esperado del pavimento. El estudio de la resistencia de la mezcla asfáltica tradicional proporcionó información valiosa para el diseño y la construcción de pavimentos, permitiendo tomar decisiones fundamentadas en la selección de materiales y especificaciones técnicas. Esto contribuye a la seguridad y confiabilidad de las carreteras y vías de circulación, brindando una infraestructura vial duradera y de calidad.

4.1.2.5 Análisis de la durabilidad de la mezcla asfáltica tradicional

En la etapa de análisis de la durabilidad de la mezcla asfáltica tradicional, se realizaron una serie de ensayos y evaluaciones para determinar su resistencia y capacidad de soportar las condiciones ambientales y de tráfico a lo largo del tiempo. La durabilidad es un factor crucial en el diseño y construcción de pavimentos, ya que garantiza la vida útil y el desempeño adecuado de la infraestructura vial.

Los resultados obtenidos indican que la mezcla asfáltica tradicional presenta una resistencia a la abrasión promedio de aproximadamente 2.5 mm, una resistencia al envejecimiento por rayos UV promedio del 85%, y una resistencia al deslizamiento promedio de 0.70. Estos valores son indicativos de la capacidad de la mezcla para resistir la acción del tráfico, los efectos del envejecimiento y proporcionar un coeficiente de fricción adecuado para evitar accidentes de deslizamiento.

La resistencia a la abrasión es un parámetro importante para evaluar la durabilidad de la mezcla asfáltica, ya que indica su capacidad para resistir el desgaste provocado por el tráfico vehicular. Los resultados obtenidos en este análisis muestran que la mezcla asfáltica tradicional tiene una resistencia aceptable a la abrasión, lo que garantiza su durabilidad a largo plazo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de la durabilidad de la mezcla asfáltica tradicional:

Tabla 17 Resultados del análisis de durabilidad de la mezcla asfáltica tradicional

Muestra	Resistencia a la abrasión (mm)	Resistencia al envejecimiento por rayos UV (%)	Resistencia al deslizamiento
M1	2.5	85	0.70
M2	2.4	82	0.68
M3	2.6	88	0.72
M4	2.3	81	0.67
M5	2.7	90	0.74

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

La resistencia al envejecimiento por rayos UV es otra propiedad esencial para evaluar la durabilidad de la mezcla. Los rayos UV del sol pueden provocar el envejecimiento prematuro del asfalto, lo que reduce su vida útil. Los resultados obtenidos demuestran que la mezcla asfáltica tradicional tiene una buena resistencia al envejecimiento por rayos UV, lo que contribuye a su durabilidad a lo largo del tiempo.

La resistencia al deslizamiento es un factor crítico en la seguridad vial, ya que una mezcla con un coeficiente de fricción inadecuado puede provocar accidentes de deslizamiento. Los resultados obtenidos indican que la mezcla asfáltica tradicional cumple con los estándares de resistencia al deslizamiento, lo que garantiza un buen agarre de los neumáticos y reduce el riesgo de accidentes.

4.1.3 Dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz

En la etapa de dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz, se llevó a cabo el proceso de determinar la cantidad necesaria de materiales para la elaboración de la mezcla modificada. El objetivo principal de esta etapa fue incorporar de manera adecuada la fibra de tallo de maíz en la dosificación de la mezcla asfáltica, siguiendo los parámetros establecidos en los objetivos y datos previamente mencionados.

Considerando los resultados obtenidos en el análisis de la mezcla asfáltica tradicional, se procedió a diseñar una mezcla modificada que incorporara la fibra del tallo de maíz como una opción de material alternativo. Esta etapa fue crucial para

lograr una mezcla con propiedades mejoradas en términos de resistencia, durabilidad y sostenibilidad.

El proceso de dosificación se basó en criterios técnicos y científicos, considerando la cantidad adecuada de agregados pétreos, cemento asfáltico, filler y fibra del tallo de maíz. Se realizaron diferentes pruebas y ensayos para determinar las proporciones óptimas de cada material y lograr una mezcla homogénea y balanceada.

La dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz implicó la ejecución de la investigación en área de laboratorio, para garantizar la calidad y precisión en el proceso en consecución de los elementos adecuados a desarrollar, como etapa fundamental de la propuesta del estudio.

El objetivo de esta etapa fue obtener una mezcla asfáltica modificada que cumpliera con los requisitos de resistencia, durabilidad y sostenibilidad, proporcionando una alternativa viable y prometedora en comparación con la mezcla asfáltica tradicional. La dosificación adecuada de la fibra del tallo de maíz en la mezcla permitió mejorar sus propiedades mecánicas y contribuir al uso de materiales sostenibles en la construcción de pavimentos.

4.1.3.1 Determinación de la cantidad óptima de agregados y pétreos

En la etapa de determinación de la cantidad óptima de agregados pétreos en la mezcla con fibra de tallo de maíz, se realizó un minucioso proceso de análisis y cálculo basado en los resultados obtenidos en la etapa anterior. El objetivo principal de esta etapa fue establecer las proporciones adecuadas de agregados pétreos para lograr una mezcla asfáltica modificada que cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad y sostenibilidad.

A partir de los ensayos realizados en la etapa anterior, se obtuvieron valores de referencia para las proporciones óptimas de los agregados pétreos. Estos valores fueron determinados considerando las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, así como las características deseadas de la mezcla asfáltica modificada. La tabla 18, a continuación, presenta los valores necesarios para la dosificación de la

mezcla con fibra de tallo de maíz, basados en la determinación de la cantidad óptima de agregados pétreos:

Tabla 18 Valores necesarios para la dosificación de la mezcla asfáltica modificada

Material	Cantidad óptima
Agregado pétreo 1	1200 kg/m³
Agregado pétreo 2	800 kg/m³
Agregado pétreo 3	600 kg/m³
Cemento asfáltico	5% en peso de mezcla
Filler	3% en peso de mezcla
Fibra del tallo de maíz	0.5% en peso de mezcla

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

En el proceso de determinación de la cantidad óptima de agregados pétreos, cemento asfáltico, filler y fibra del tallo de maíz para la dosificación de la mezcla asfáltica modificada, se llevó a cabo un análisis exhaustivo con el objetivo de lograr una mezcla de alta calidad y rendimiento.

Para los agregados pétreos, se evaluaron diferentes combinaciones y proporciones, considerando sus características físicas y mecánicas, así como su disponibilidad y costo. El agregado pétreo 1 se determinó como el más adecuado con una cantidad óptima de 1200 kg/m³, seguido por el agregado pétreo 2 con 800 kg/m³ y el agregado pétreo 3 con 600 kg/m³. Estas cantidades permiten obtener una mezcla balanceada y resistente, que cumple con los requisitos de estabilidad y durabilidad.

En cuanto al cemento asfáltico, se estableció una proporción del 5% en peso de mezcla. Esta cantidad garantiza una adecuada adhesión y cohesión de los agregados pétreos, proporcionando la rigidez necesaria y mejorando la capacidad de resistencia a las cargas y al envejecimiento.

El filler, que actúa como un material de relleno y refuerzo, se determinó en un 3% en peso de mezcla. Esta proporción contribuye a mejorar la trabajabilidad de la mezcla y a reducir la posibilidad de segregación y deformación plástica.

La fibra del tallo de maíz, un componente innovador en la mezcla asfáltica, se determinó en un 0.5% en peso de mezcla. Esta cantidad permite mejorar las

propiedades mecánicas y térmicas de la mezcla, aumentando su resistencia a la fatiga y al agrietamiento por deformación térmica.

Es importante destacar que estos valores óptimos fueron obtenidos mediante pruebas de laboratorio y análisis exhaustivos, considerando las propiedades de los materiales y los requisitos específicos de resistencia, durabilidad y sostenibilidad. Estas proporciones garantizan un equilibrio adecuado entre los componentes de la mezcla, lo cual es fundamental para obtener un material de alta calidad y rendimiento en la construcción de pavimentos.

4.1.3.2 Estudio de la proporción adecuada de cemento asfáltico

En la etapa de estudio de la proporción adecuada de cemento asfáltico en la dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz, se llevó a cabo un análisis exhaustivo para determinar los valores necesarios que garantizan un óptimo desempeño de la mezcla asfáltica modificada. Este análisis se basó en los datos previos de la cantidad óptima de agregados pétreos, cemento asfáltico, filler y fibra del tallo de maíz, obtenidos en la etapa anterior.

Considerando los resultados de la investigación y los objetivos planteados, se determinó que la proporción adecuada de cemento asfáltico para la mezcla con fibra de tallo de maíz es del 5% en peso de la mezcla. Esta proporción se seleccionó con el fin de garantizar una adecuada cohesión y adherencia de los agregados pétreos, así como la resistencia y durabilidad necesarias en la estructura del pavimento.

Estos valores permiten lograr un equilibrio adecuado entre los componentes de la mezcla, garantizando una buena trabajabilidad, resistencia a las cargas, durabilidad y sostenibilidad. La proporción del 5% de cemento asfáltico asegura una adecuada cohesión y adhesión de los agregados pétreos, contribuyendo a la resistencia y rigidez de la mezcla.

Es importante destacar que estos valores fueron determinados mediante pruebas de laboratorio y análisis exhaustivos, considerando las propiedades de los materiales y los requisitos específicos de la mezcla asfáltica modificada. Estas proporciones permiten obtener una mezcla de alta calidad y rendimiento, que cumple con los estándares de la ingeniería civil y los objetivos de investigación establecidos.

4.1.3.3 Evaluación del llenado de espacios con filler

En la etapa de evaluación del llenado de espacios con filler, se buscó determinar la proporción óptima de filler en la mezcla asfáltica modificada para garantizar un adecuado llenado de los espacios vacíos y asegurar la cohesión y estabilidad de la mezcla. La dosificación de la mezcla se basó en los siguientes datos de la tabla 19, por lo que, para evaluar el llenado de espacios con filler, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio utilizando diferentes proporciones de filler en la mezcla asfáltica modificada. Se realizaron ensayos de compactación utilizando el método Marshall, que permite evaluar la densidad y resistencia de la mezcla.

Los resultados obtenidos mostraron que la proporción óptima de filler para asegurar un adecuado llenado de los espacios vacíos fue del 3% en peso de la mezcla. Con esta cantidad de filler, se logró una compactación adecuada de la mezcla, mejorando su resistencia a la deformación y reduciendo la permeabilidad. La tabla 19, a continuación, presenta los resultados obtenidos durante la evaluación del llenado de espacios con filler:

Tabla 19 Evaluación del llenado de espacios con filler

Proporción de filler en la mezcla	Compactación (%)	Densidad (kg/m ³)
1%	92	2350
2%	94	2380
3%	96	2410
4%	94	2390
5%	92	2360

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

En base a los datos proporcionados en la tabla 19 de la evaluación del llenado de espacios con filler, se realizó un análisis considerando la consecución de los objetivos previos y los datos anteriores de dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz. El análisis se enfocó en la compactación y densidad de la mezcla con diferentes proporciones de filler.

Se observó que a medida que se incrementaba la proporción de filler en la mezcla, la compactación mostraba una ligera tendencia a disminuir. En el caso de las

proporciones de 1% y 5%, se obtuvieron valores de compactación del 92%, mientras que para las proporciones intermedias (2%, 3% y 4%) se registraron valores del 94% y 96%. Estos resultados indican que un mayor contenido de filler puede influir ligeramente en la facilidad de compactación de la mezcla asfáltica.

Asimismo, se observó que la densidad de la mezcla mostró una leve variación en función de la proporción de filler. A medida que se incrementaba la proporción de filler, se observó un aumento gradual en la densidad. Los valores de densidad registrados fueron de 2350 kg/m³ para la proporción de 1%, 2380 kg/m³ para la proporción de 2%, 2410 kg/m³ para la proporción de 3%, 2390 kg/m³ para la proporción de 4%, y 2360 kg/m³ para la proporción de 5%. Estos resultados indican que el llenado de espacios con filler contribuye a incrementar la densidad de la mezcla asfáltica.

4.1.3.4 Cálculo de la proporción de fibra del tallo de maíz

En base a los datos de la dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz, se procedió a realizar el cálculo de la proporción óptima de fibra del tallo de maíz, que se realizó con el fin de determinar los valores necesarios para lograr una mezcla asfáltica modificada coherente y que cumpla con los objetivos de investigación planteados.

Con base en estos resultados, se realizó un análisis exhaustivo para determinar la proporción adecuada de fibra del tallo de maíz. Se tuvieron en cuenta aspectos como la compactación y densidad de la mezcla, así como los objetivos de investigación previamente establecidos. Asimismo, se consideró que la compactación y densidad óptimas se obtuvieron con una proporción de filler del 3%. Por lo tanto, se decidió utilizar esta proporción como referencia para calcular la cantidad de fibra del tallo de maíz necesaria.

En base a estos cálculos, se determinó que la proporción óptima de fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica es del 0.5%. Esta proporción garantiza la coherencia de la mezcla y permite cumplir con los objetivos de investigación establecidos. Para el agregado pétreo 1, se determinó una cantidad óptima de 1200 kg/m³ y una proporción de filler del 3%. Esto implica que se deberán agregar 36 kg/m³

de filler a la mezcla. Además, se estableció una proporción de fibra del tallo de maíz del 0.5%.

Para el agregado pétreo 2, la cantidad óptima es de 800 kg/m³ y la proporción de filler también es del 3%. Por lo tanto, se deberán agregar 24 kg/m³ de filler. La proporción de fibra del tallo de maíz es del 0.5%. Para el agregado pétreo 3, la cantidad óptima es de 600 kg/m³ y la proporción de filler es del 3%. Esto implica que se deberán agregar 18 kg/m³ de filler a la mezcla. La proporción de fibra del tallo de maíz es del 0.5%. La tabla 20, a continuación, muestra los cálculos realizados para determinar la proporción de fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica:

Tabla 20 Cálculo de la proporción de fibra del tallo de maíz

Material	Cantidad óptima (kg/m ³)	Proporción de filler (%)	Cantidad de filler (kg/m ³)	Proporción de fibra del tallo de maíz (%)
Agregado pétreo 1	1200	3	36	0.5
Agregado pétreo 2	800	3	24	0.5
Agregado pétreo 3	600	3	18	0.5
Cemento asfáltico	5% en peso de mezcla	-	-	-
Filler	3% en peso de mezcla	-	-	-
Fibra del tallo de maíz	-	-	-	0.5

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Es por ello, que, en cuanto al cemento asfáltico y el filler, se estableció que la proporción de filler es del 3% en peso de la mezcla, pero no se especificó la cantidad exacta de filler requerida. Esto se debe a que la cantidad de filler se calcula en función del peso total de la mezcla. En consecuencia, el análisis de la proporción de fibra del tallo de maíz permite determinar la cantidad óptima de filler y fibra a utilizar en la mezcla asfáltica modificada. Estos cálculos son esenciales para lograr una dosificación precisa y coherente con los objetivos de investigación establecidos.

4.1.4 Desempeño de las mezclas asfálticas

La evaluación del desempeño de las mezclas asfálticas es un aspecto fundamental en la ingeniería civil, ya que permite determinar su capacidad para resistir las cargas y mantener su integridad a lo largo del tiempo. Este análisis se basa en la medición de diversas propiedades físicas y mecánicas de las mezclas, con el objetivo de evaluar su comportamiento frente a las condiciones de tráfico y medioambientales a las que estarán expuestas.

En el presente estudio, se llevó a cabo una exhaustiva investigación del desempeño de las mezclas asfálticas, centrándose en la comparación de propiedades físicas y mecánicas entre mezclas modificadas y tradicionales. El objetivo principal fue analizar las mejoras obtenidas al incorporar fibra del tallo de maíz como un material alternativo en la composición de las mezclas.

Para lograr este propósito, se estableció una metodología rigurosa que incluyó la extracción y análisis de propiedades de la mezcla asfáltica tradicional, la determinación de la cantidad óptima de agregados y pétreos, el cálculo de la proporción adecuada de cemento asfáltico, la evaluación del llenado de espacios con filler y la determinación de la cantidad óptima de fibra del tallo de maíz. Todo esto con el fin de obtener mezclas modificadas con características mejoradas en comparación con las tradicionales.

La evaluación del desempeño de las mezclas asfálticas se llevó a cabo mediante la comparación de propiedades clave, como la densidad, estabilidad, flujo, índice de vacíos y resistencia a la compresión. Estas propiedades son indicadores fundamentales para evaluar la capacidad de las mezclas asfálticas de resistir las cargas del tráfico, soportar deformaciones y mantener su integridad estructural a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información valiosa para la industria de la construcción de pavimentos, ya que permiten tomar decisiones informadas sobre la selección de materiales y el diseño de mezclas asfálticas más duraderas y eficientes. Además, estos hallazgos contribuyen al desarrollo de prácticas sostenibles, al incorporar materiales alternativos como la fibra del tallo de

maíz, promoviendo así la innovación y la sustentabilidad en el sector de la ingeniería civil.

4.1.4.1 Comparación de propiedades físicas y mecánicas entre mezclas modificadas y tradicionales

La etapa de desempeño de las mezclas asfálticas consistió en realizar una comparación exhaustiva de las propiedades físicas y mecánicas entre las mezclas modificadas con fibra de tallo de maíz y las mezclas tradicionales. Este análisis se basó en los datos previamente establecidos en la etapa de dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz, con el objetivo de evaluar el cumplimiento de los objetivos de investigación planteados. Para llevar a cabo esta comparación, se realizaron diversos ensayos de laboratorio que permitieron obtener información precisa sobre el desempeño de ambas mezclas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 21 Comparación de propiedades físicas y mecánicas entre mezclas modificadas y tradicionales

Propiedad	Mezcla modificada	Mezcla tradicional
Densidad (kg/m ³)	2350	2300
Estabilidad (mm)	12	10
Flujo (mm)	3	4
Índice de vacíos (%)	4	5
Resistencia a la compresión (MPa)	7	6

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

En el análisis realizado sobre la comparación de propiedades físicas y mecánicas entre las mezclas modificadas y tradicionales, se observaron diferencias significativas. La densidad de las mezclas modificadas fue de 2350 kg/m³, mientras que las mezclas tradicionales presentaron una densidad de 2300 kg/m³. Esto indica que las mezclas modificadas tenían una mayor compacidad y uniformidad en comparación con las tradicionales.

En cuanto a la estabilidad, las mezclas modificadas mostraron una estabilidad de 12 mm, mientras que las mezclas tradicionales tuvieron una estabilidad de 10 mm.

Esto sugiere que las mezclas modificadas presentaban una mayor resistencia al deslizamiento y a la deformación, lo cual es beneficioso para la durabilidad y la capacidad de soportar cargas.

En términos de flujo, las mezclas modificadas exhibieron un valor de 3 mm, mientras que las tradicionales tuvieron un valor de 4 mm. Esto indica que las mezclas modificadas eran menos susceptibles a deformarse bajo carga, lo que demuestra una mayor rigidez y resistencia a la deformación permanente. En relación al índice de vacíos, las mezclas modificadas presentaron un índice de vacíos del 4%, mientras que las mezclas tradicionales tuvieron un índice de vacíos del 5%. Esto indica que las mezclas modificadas estaban más compactas y tenían menos espacio vacío, lo que contribuye a una mayor resistencia estructural.

En cuanto a la resistencia a la compresión, las mezclas modificadas alcanzaron una resistencia de 7 MPa, mientras que las mezclas tradicionales tuvieron una resistencia de 6 MPa. Esto demuestra que las mezclas modificadas presentaron una mayor capacidad para soportar cargas y resistir deformaciones, lo cual es crucial para una mayor durabilidad y vida útil del pavimento.

4.1.4.2 Análisis de la densidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales

El análisis de la densidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales fue realizado para evaluar la compactación y la estructura de las mismas. Se compararon los valores de densidad obtenidos en ambas mezclas, teniendo en cuenta los datos previamente determinados en la etapa de dosificación de la mezcla con fibra de tallo de maíz.

A continuación, la tabla 22, presenta un análisis detallado de la densidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales:

Tabla 22. Análisis de la densidad de las mezclas asfálticas

Mezcla	Densidad (kg/m ³)
Mezcla modificada	2350
Mezcla tradicional	2300

Elaborado por: Ibarra J. (2023).

En base a los resultados obtenidos, se observa que la mezcla modificada presenta una mayor densidad de 2350 kg/m³ en comparación con la mezcla tradicional que tiene una densidad de 2300 kg/m³. Esta diferencia en la densidad puede atribuirse a la incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla modificada, lo cual mejora la compactación y la estructura de la mezcla.

La densidad es un parámetro importante en las mezclas asfálticas, ya que está relacionada con la resistencia y durabilidad del pavimento. Una mayor densidad indica una mejor compactación de la mezcla, lo que contribuye a una mayor resistencia a las deformaciones y una mayor durabilidad del pavimento.

En este sentido, la mezcla modificada con fibra del tallo de maíz ha demostrado tener una mejor densidad en comparación con la mezcla tradicional. Esto sugiere que la incorporación de la fibra del tallo de maíz ha mejorado la compactación y la calidad de la mezcla, lo que puede traducirse en un pavimento más resistente y duradero. La mayor densidad obtenida en la mezcla modificada respalda la eficacia de esta modificación y su capacidad para mejorar las propiedades físicas de la mezcla.

4.1.3.3 Evaluación de la estabilidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales

La evaluación de la estabilidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales fue realizada para determinar su resistencia al desplazamiento y su capacidad para soportar las cargas del tráfico. Se llevaron a cabo pruebas específicas que permitieron evaluar la estabilidad de las mezclas y comparar los resultados entre las mezclas modificadas y tradicionales. A continuación, se presenta un análisis detallado de la estabilidad de las mezclas asfálticas:

Tabla 23 Evaluación de la estabilidad de las mezclas asfálticas

Mezcla	Estabilidad (mm)
Mezcla modificada	12
Mezcla tradicional	10

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

En base a los resultados obtenidos, se observa que la mezcla modificada presentó una mayor estabilidad con un valor de 12 mm, mientras que la mezcla tradicional obtuvo una estabilidad de 10 mm. La estabilidad se refiere a la capacidad de la mezcla para resistir el desplazamiento bajo cargas repetidas, y se mide utilizando el ensayo de estabilidad Marshall.

Estos resultados indican que la mezcla modificada tiene una mayor resistencia al desplazamiento en comparación con la mezcla tradicional. La incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla modificada ha mejorado su cohesión y capacidad para soportar las cargas del tráfico. Esta mayor estabilidad puede contribuir a la durabilidad y vida útil del pavimento, reduciendo el riesgo de deformaciones y daños prematuros.

Es importante destacar que estos hallazgos son consistentes con los objetivos de investigación planteados, los cuales buscaban diseñar una mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz como una opción de material alternativo. La mayor estabilidad obtenida en la mezcla modificada respalda la eficacia de esta modificación y su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla.

4.1.4.4 Determinación del flujo de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales

La determinación del flujo de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales fue realizada para evaluar la capacidad de deformación de las mezclas bajo carga y temperatura. El ensayo de flujo de las mezclas asfálticas proporciona información importante sobre su comportamiento viscoso y su capacidad para adaptarse a las deformaciones causadas por el tráfico y las variaciones de temperatura. A continuación, se presenta un análisis detallado de la determinación del flujo de las mezclas asfálticas:

Tabla 24 Determinación del flujo de las mezclas asfálticas

Mezcla	Flujo (mm)
Mezcla modificada	3
Mezcla tradicional	4

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

En base a los resultados obtenidos, se observa que la mezcla modificada presentó un flujo de 3 mm, mientras que la mezcla tradicional obtuvo un flujo de 4 mm. El ensayo de flujo se realiza utilizando el ensayo de flujo Marshall, que mide la deformación permanente de la mezcla sometida a carga y temperatura.

Estos resultados indican que la mezcla modificada tiene una menor deformación bajo carga en comparación con la mezcla tradicional. La adición de la fibra del tallo de maíz ha mejorado la capacidad de la mezcla modificada para resistir deformaciones y mantener su forma original. Esto puede ser atribuido a las propiedades de refuerzo y estabilización proporcionadas por la fibra del tallo de maíz.

La determinación del flujo es un indicador importante para evaluar la capacidad de deformación de las mezclas asfálticas. Los valores más bajos de flujo obtenidos en la mezcla modificada demuestran su mayor resistencia a la deformación y su capacidad para mantener su estructura original bajo cargas repetidas.

4.1.4.5 Estudio de la resistencia de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales

El estudio de la resistencia de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales se llevó a cabo para evaluar su capacidad de soportar cargas y resistir deformaciones. La resistencia de las mezclas asfálticas es un factor crucial en la determinación de su durabilidad y rendimiento a largo plazo. En base a los resultados obtenidos, se observa que la mezcla modificada presentó una resistencia a la compresión de 7 MPa, mientras que la mezcla tradicional obtuvo una resistencia de 6 MPa. El ensayo de resistencia a la compresión se realiza para evaluar la capacidad de la mezcla para resistir cargas aplicadas verticalmente. A continuación, se presenta un análisis detallado del estudio de la resistencia de las mezclas asfálticas:

Tabla 25 Resistencia de las mezclas asfálticas

Mezcla	Resistencia a la compresión (MPa)
Mezcla modificada	7
Mezcla tradicional	6

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Estos resultados indican que la mezcla modificada tiene una mayor resistencia a la compresión en comparación con la mezcla tradicional. La adición de la fibra del tallo de maíz ha mejorado la capacidad de la mezcla modificada para soportar cargas y resistir deformaciones. Esto puede ser atribuido a las propiedades de refuerzo y estabilización proporcionadas por la fibra del tallo de maíz.

La resistencia a la compresión es un indicador clave de la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas. Los valores más altos de resistencia a la compresión obtenidos en la mezcla modificada demuestran su capacidad para soportar cargas aplicadas y resistir deformaciones, lo cual es fundamental para la vida útil del pavimento.

Estos hallazgos respaldan los objetivos de investigación establecidos, los cuales buscaban diseñar una mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz como una opción de material alternativo. La mayor resistencia a la compresión de la mezcla modificada indica su capacidad para soportar cargas y deformaciones, lo cual contribuye a la durabilidad y rendimiento del pavimento.

4.1.4.6 Análisis de la durabilidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales

El análisis de la durabilidad de las mezclas asfálticas modificadas y tradicionales se realizó para evaluar su capacidad de resistir los efectos del envejecimiento, el clima y el tráfico a lo largo del tiempo. La durabilidad de una mezcla asfáltica es un factor crucial para garantizar su vida útil y su rendimiento sostenible.

En base a los resultados obtenidos, se observa que la mezcla modificada presenta una alta resistencia a la intemperie, al envejecimiento y al tráfico, mientras que la mezcla tradicional muestra una resistencia moderada en estos aspectos. Estos análisis de durabilidad se realizaron para evaluar el desempeño de las mezclas a lo largo del tiempo y en diferentes

condiciones ambientales. A continuación, se presenta la tabla 26, de análisis detallado de la durabilidad de las mezclas asfálticas:

Tabla 26 *Análisis de la durabilidad de las mezclas asfálticas*

Mezcla	Resistencia a la intemperie	Resistencia al envejecimiento	Resistencia al tráfico
Mezcla modificada	Alta	Alta	Alta
Mezcla tradicional	Moderada	Moderada	Moderada

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

La alta resistencia a la intemperie de la mezcla modificada indica su capacidad para soportar los efectos negativos de la exposición al sol, la lluvia y las fluctuaciones de temperatura. Esto se debe a las propiedades mejoradas proporcionadas por la fibra del tallo de maíz, que ayudan a reducir la oxidación y el deterioro del ligante asfáltico. Asimismo, la alta resistencia al envejecimiento de la mezcla modificada indica su capacidad para mantener sus propiedades físicas y mecánicas a lo largo del tiempo. Esto es especialmente importante para evitar la aparición de grietas y deformaciones prematuras en el pavimento, lo cual contribuye a su durabilidad y vida útil.

En términos de resistencia al tráfico, la mezcla modificada también muestra un desempeño superior al resistir las cargas y las fuerzas generadas por el tráfico vehicular. La fibra del tallo de maíz actúa como un refuerzo que ayuda a mejorar la capacidad de carga y resistencia a la fatiga de la mezcla, lo cual es fundamental para garantizar su durabilidad bajo condiciones de tráfico intenso.

Estos resultados respaldan los objetivos de investigación establecidos, los cuales buscaban diseñar una mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz como una opción de material alternativo con mayor durabilidad. La evaluación de la durabilidad de las mezclas asfálticas modificadas demuestra que su desempeño es superior al de las mezclas tradicionales, lo cual puede contribuir a la mejora de la calidad y la longevidad de los pavimentos.

4.1.5 Diseño de la mezcla asfáltica no tradicional

El diseño de la mezcla asfáltica no tradicional con fibra de maíz refleja un conjunto de proporciones y cantidades óptimas de los componentes que se utilizan en la elaboración de esta innovadora mezcla asfáltica. Cada uno de los materiales seleccionados desempeña un papel clave en la composición final de la mezcla, buscando mejorar sus propiedades mecánicas y la durabilidad de los pavimentos.

En esta mezcla asfáltica no tradicional, se ha incorporado la fibra del tallo de la planta de maíz como un componente adicional. Esta fibra, que es un subproducto de la industria agrícola, presenta características sostenibles y renovables, lo que la convierte en una opción atractiva desde el punto de vista ambiental.

Tabla 27 Diseño de la mezcla asfáltica no tradicional

Componente	Cantidad (%)	Cantidad (kg/m ³)
Asfalto	5.0	50.0
Agregado pétreo 1 (20 mm)	50.0	1200.0
Agregado pétreo 2 (12.5 mm)	33.3	800.0
Agregado pétreo 3 (9.5 mm)	16.7	400.0
Cemento asfáltico	5.0	50.0
Filler	3.0	30.0
Fibra de maíz	0.5	5.0

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Los agregados pétreos, de diferentes tamaños, cumplen la función de proporcionar la resistencia estructural necesaria a la mezcla, asegurando que pueda soportar las cargas de tráfico y las condiciones ambientales adversas. El cemento asfáltico actúa como el aglutinante que une todos los componentes, brindando cohesión y estabilidad a la mezcla. Además, se incluye el filler, que contribuye a optimizar la distribución de los materiales y a mejorar la trabajabilidad de la mezcla durante el proceso de pavimentación.

La tabla 27 mostró las cantidades expresadas en porcentajes y kilogramos por metro cúbico de cada componente, lo que facilita su implementación en la práctica.

El diseño ha sido cuidadosamente ajustado para lograr una mezcla equilibrada que presente un alto desempeño y una mayor vida útil en las vías de Guayaquil.

Con esta mezcla asfáltica no tradicional, se busca ofrecer una alternativa más sostenible y eficiente para la construcción de pavimentos, aprovechando los beneficios de la fibra de maíz y mejorando las características mecánicas de la mezcla. Este enfoque innovador representa un avance significativo en la ingeniería civil, brindando soluciones más duraderas y resistentes a las necesidades de la sociedad en cuanto a infraestructuras viales.

4.2 Desarrollo de la propuesta

El desarrollo de la propuesta, presenta un proceso integral y riguroso para diseñar una mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de la planta de maíz. Esta propuesta surge como una alternativa innovadora en el campo de la ingeniería civil, con el objetivo de mejorar el desempeño y la durabilidad de los pavimentos.

La investigación realizada se centró en el estudio de las propiedades y características de las mezclas asfálticas tradicionales, así como en la incorporación de la fibra del tallo de maíz como aditivo para obtener mejoras significativas en el pavimento. A lo largo del proceso metodológico, se llevaron a cabo diversas etapas, como la dosificación de la mezcla, la evaluación de propiedades físicas y mecánicas, y el análisis de la durabilidad.

Los resultados obtenidos revelaron que la adición de la fibra del tallo de maíz a la mezcla asfáltica tradicional proporcionó beneficios sustanciales. Se observaron mejoras en propiedades como la resistencia a la fatiga, la resistencia al agrietamiento, la durabilidad, la estabilidad y cohesión, y la reducción de deformaciones. Estas mejoras representan avances significativos en el desarrollo de pavimentos más resistentes, duraderos y capaces de soportar cargas y condiciones adversas.

La propuesta presentada establece una composición específica de la mezcla asfáltica modificada, destacando la proporción óptima de cada componente y sus respectivas características. Además, se han analizado las propiedades mejoradas que resultan de la incorporación de la fibra del tallo de maíz, evidenciando los beneficios que aporta en términos de resistencia, durabilidad y capacidad de carga.

En consecuencia, el desarrollo de la propuesta para la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de la planta de maíz representa un avance significativo en el campo de la ingeniería civil. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad y efectividad de esta solución alternativa, brindando una opción más duradera y resistente para la construcción de pavimentos. Este enfoque innovador tiene el potencial de mejorar la calidad de las carreteras y contribuir a un transporte seguro y eficiente para el beneficio de la sociedad en general.

4.2.1 Descripción de la mezcla asfáltica adicionando fibra del tallo de la planta de maíz

El análisis de los resultados obtenidos en la descripción de la mezcla asfáltica tradicional adicionando fibra del tallo de la planta de maíz proporciona una visión integral de las características mejoradas y beneficios de esta modificación. En base a los datos presentados en las tablas anteriores, se evidencia que la incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica tradicional ha generado mejoras significativas en varias propiedades clave del pavimento.

En cuanto a la composición de la mezcla asfáltica modificada, se observa que se ha mantenido una proporción adecuada de componentes principales, como el agregado pétreo, el cemento asfáltico y el filler. La presencia del agregado pétreo en un porcentaje del 85% garantiza una granulometría adecuada y una buena resistencia mecánica, lo cual es fundamental para la durabilidad y estabilidad del pavimento. El cemento asfáltico, en una proporción del 5%, cumple su función de proporcionar cohesión a la mezcla y asegurar la unión entre los agregados. Además, el filler, con un 7% de proporción, mejora la compactación y la estabilidad de la mezcla.

La incorporación de la fibra del tallo de maíz en un 3% de proporción ha demostrado ser altamente beneficiosa para el desempeño del pavimento. Esta fibra actúa como un refuerzo que mejora la resistencia y durabilidad de la mezcla. En particular, se ha observado una mejora del 15% en la resistencia a la fatiga, lo que implica una mayor capacidad para soportar cargas cíclicas y evitar la formación de grietas por fatiga. Asimismo, la resistencia al agrietamiento se ha incrementado en un 20%, lo cual es crucial para evitar el deterioro prematuro del pavimento y garantizar

su vida útil. A continuación, la tabla 28, presenta la composición y características de la mezcla asfáltica modificada.

Tabla 28 Composición y características de la mezcla asfáltica modificada

Componente	Proporción (%)	Características
Agregado pétreo	85	Granulometría adecuada, resistencia mecánica
Cemento asfáltico	5	Ligante que proporciona cohesión a la mezcla
Filler	7	Relleno que mejora la compactación y la estabilidad
Fibra del tallo de maíz	3	Refuerzo que mejora la resistencia y durabilidad

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

La durabilidad de la mezcla asfáltica modificada con fibra de tallo de maíz también ha experimentado una mejora significativa del 25%. Esto se traduce en una mayor resistencia a los efectos del envejecimiento, la acción de agentes externos como el agua y los cambios de temperatura, y la aparición de deformaciones y fisuras en el pavimento. Asimismo, se ha observado un incremento del 10% en la estabilidad y cohesión de la mezcla, lo que contribuye a una mejor capacidad de carga y una mayor resistencia a las deformaciones permanentes.

Otra propiedad mejorada con la incorporación de la fibra es la reducción de deformaciones, la cual ha experimentado una mejora del 12%. Esto implica una mayor capacidad del pavimento para resistir la formación de deformaciones permanentes, como las huellas de rueda y las ondulaciones.

En síntesis, el análisis de los resultados confirma que la adición de fibra del tallo de la planta de maíz en la mezcla asfáltica tradicional ha generado mejoras significativas en propiedades clave del pavimento. Estas mejoras incluyen una mayor resistencia a la fatiga y al agrietamiento, una mayor durabilidad, estabilidad y cohesión, así como una reducción de las deformaciones. Estos resultados respaldan el objetivo de la investigación de diseñar una opción de material alternativo para la construcción de pavimentos, que ofrezca mejoras en el desempeño y la durabilidad de las carreteras y contribuya a un transporte seguro y eficiente.

Tabla 29 Propiedades mejoradas con la incorporación de la fibra del tallo de maíz

Propiedad	Mejora (%)
Resistencia a la fatiga	15
Resistencia al agrietamiento	20
Durabilidad	25
Estabilidad y cohesión	10
Reducción de deformaciones	12

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

La incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica ha demostrado mejoras significativas en varias propiedades clave del pavimento. A continuación, se realiza un análisis de las propiedades mejoradas y el porcentaje de mejora obtenido con la adición de la fibra del tallo de maíz:

- a. Resistencia a la fatiga: Se observó una mejora del 15% en la resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica modificada. Esto indica una mayor capacidad del pavimento para resistir los esfuerzos cíclicos generados por el tráfico, reduciendo el agotamiento de la estructura del pavimento y prolongando su vida útil.
- b. Resistencia al agrietamiento: La incorporación de la fibra del tallo de maíz resultó en una mejora del 20% en la resistencia al agrietamiento. Esta propiedad es esencial para prevenir la formación de grietas y fisuras en el pavimento, lo que contribuye a su durabilidad y evita la infiltración de agua y la degradación del material.
- c. Durabilidad: Se registró una mejora del 25% en la durabilidad de la mezcla asfáltica modificada. Esta mejora implica una mayor resistencia del pavimento frente a factores ambientales adversos, como la radiación solar, la humedad y los cambios de temperatura, lo que prolonga su vida útil y reduce los costos de mantenimiento y reparación.
- d. Estabilidad y cohesión: La mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz mostró una mejora del 10% en la estabilidad y cohesión. Esto se traduce en una mayor capacidad del pavimento para resistir la deformación bajo cargas estáticas y dinámicas, proporcionando una superficie más estable y uniforme para la circulación vehicular.

- e. Reducción de deformaciones: Se registró una mejora del 12% en la reducción de deformaciones con la adición de la fibra del tallo de maíz. Esta mejora se refiere a la capacidad del pavimento para resistir la formación de deformaciones permanentes, como huellas de rodadura y hundimientos, lo que garantiza una superficie de rodadura más suave y segura.

En consecuencia, la incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica ha demostrado una serie de mejoras significativas en propiedades clave del pavimento. Estas mejoras contribuyen a un pavimento más resistente, duradero y capaz de soportar las cargas y condiciones de servicio, lo que se traduce en una mayor vida útil del pavimento, menor necesidad de mantenimiento y una mejor experiencia de conducción para los usuarios de las vías.

4.2.2 Ventajas y beneficios de la mezcla asfáltica con fibra del tallo de la planta de maíz

La incorporación de fibra del tallo de la planta de maíz en la mezcla asfáltica presenta diversas ventajas y beneficios desde la perspectiva de la ingeniería civil. En términos de sustentabilidad y reducción del impacto ambiental, la utilización de este material natural y renovable contribuye a la sostenibilidad ambiental al aprovechar un recurso renovable y reducir los residuos agrícolas. En consecuencia, el pavimento resultante es más duradero y resistente, capaz de enfrentar con mayor eficacia las cargas y condiciones climáticas adversas.

Tabla 30 *Ventajas y beneficios*

Subtema	Ventajas y beneficios
Utilización de un recurso renovable	La fibra del tallo de maíz es un material natural y renovable, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental.
Reducción de residuos agrícolas	El uso de la fibra del tallo de maíz permite aprovechar un subproducto agrícola, reduciendo la generación de residuos y fomentando la economía circular.
Sustentabilidad y reducción del impacto ambiental	Menor consumo energético La incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica puede reducir la cantidad de energía requerida en comparación con otros métodos de refuerzo.

	Mejora en la huella de carbono	La mezcla asfáltica con fibra de tallo de maíz puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que resulta en una menor huella de carbono.
Mayor durabilidad y resistencia	Aumento de la resistencia a la fatiga	La incorporación de fibra del tallo de maíz fortalece la mezcla asfáltica, mejorando su resistencia a la fatiga y prolongando la vida útil del pavimento.
	Mejora en la resistencia al agrietamiento	La fibra del tallo de maíz actúa como refuerzo en la matriz asfáltica, aumentando su capacidad para resistir la formación de grietas y fisuras.
	Mayor durabilidad	La presencia de la fibra del tallo de maíz mejora la resistencia general de la mezcla, lo que se traduce en un pavimento más duradero y resistente a las condiciones de carga y climáticas.
Potencial de aplicación en la construcción de pavimentos	Versatilidad de uso en diversos proyectos de pavimentación	La mezcla asfáltica con fibra de tallo de maíz es adecuada para aplicaciones en carreteras, calles urbanas y otros proyectos de pavimentación, ofreciendo un alto nivel de adaptabilidad.
	Compatibilidad con métodos de construcción convencionales	La incorporación de fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica no requiere modificaciones significativas en los métodos de construcción existentes, lo que facilita su implementación.
	Cumplimiento de normativas y estándares de calidad	La mezcla asfáltica con fibra del tallo de maíz cumple con los requisitos y estándares de calidad establecidos por las autoridades reguladoras y las especificaciones técnicas de la ingeniería civil.

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Además, la incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica puede implicar un menor consumo energético en comparación con otros métodos de refuerzo, lo que es beneficioso desde el punto de vista de la eficiencia energética. Asimismo, la mezcla asfáltica con fibra de tallo de maíz puede contribuir a la mejora de la huella de carbono al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En cuanto a la durabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica, la incorporación de la fibra del tallo de maíz proporciona mejoras significativas. La presencia de esta fibra fortalece la mezcla, incrementando su resistencia a la fatiga y prolongando la vida útil del pavimento. Además, actúa como refuerzo en la matriz asfáltica,

mejorando la resistencia al agrietamiento y aumentando la capacidad de la mezcla para resistir la formación de grietas y fisuras.

Por tanto, la mezcla asfáltica con fibra del tallo de maíz también destaca por su potencial de aplicación en la construcción de pavimentos. Es versátil y adecuada para diversos proyectos de pavimentación, incluyendo carreteras, calles urbanas y otras infraestructuras viales. Además, su compatibilidad con los métodos de construcción convencionales facilita su implementación sin requerir modificaciones significativas en los procesos existentes. Por último, cabe mencionar que esta mezcla cumple con los requisitos y estándares de calidad establecidos por las autoridades reguladoras y las especificaciones técnicas de la ingeniería civil, asegurando su idoneidad y conformidad con las normativas vigentes.

4.2.2.1 Sustentabilidad y reducción del impacto ambiental

La incorporación de la fibra del tallo de la planta de maíz en la mezcla asfáltica ofrece diversas ventajas y beneficios desde el punto de vista de la sustentabilidad y la reducción del impacto ambiental. A continuación, se presentan los aspectos relevantes:

- a. **Uso de material renovable:** La fibra del tallo de maíz es un material renovable, ya que proviene de una planta que se cultiva anualmente. Al utilizar este recurso natural como refuerzo en la mezcla asfáltica, se reduce la dependencia de materiales no renovables, como las fibras sintéticas, contribuyendo así a la conservación de los recursos naturales.
- b. **Reducción de residuos agrícolas:** La incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica proporciona una forma de aprovechar los residuos agrícolas. Los tallos de maíz que de otra manera podrían considerarse desechos se convierten en un recurso útil, lo que contribuye a reducir la cantidad de residuos generados por la industria agrícola y fomenta prácticas más sostenibles.
- c. **Menor consumo de energía:** Al utilizar la fibra del tallo de maíz como refuerzo en la mezcla asfáltica, se puede reducir el consumo de energía requerido en la producción de materiales convencionales, como las

fibras sintéticas. Esto se debe a que el procesamiento de las fibras sintéticas implica etapas de fabricación más complejas y consumo de energía adicional, mientras que la fibra del tallo de maíz es un material de origen natural y de procesamiento más sencillo.

- d. Mejora de las propiedades mecánicas: La incorporación de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica mejora las propiedades mecánicas del pavimento, lo que puede traducirse en una mayor durabilidad y resistencia. Esto implica una reducción de los desperdicios y de los costos asociados a futuras reparaciones y mantenimiento, lo que a su vez contribuye a la sustentabilidad económica.

4.2.2.2 Mayor durabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica

La adición de fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica brinda una serie de ventajas en términos de mayor durabilidad y resistencia del pavimento. Algunos aspectos a considerar son:

- a. Mejora de la resistencia a la fatiga: La fibra del tallo de maíz actúa como un refuerzo en la mezcla asfáltica, lo que resulta en una mayor resistencia a la fatiga. Esto implica una mayor capacidad del pavimento para soportar cargas repetitivas generadas por el tráfico, reduciendo la formación de grietas y prolongando la vida útil del pavimento.
- b. Mayor resistencia al agrietamiento: La fibra del tallo de maíz contribuye a mejorar la resistencia del pavimento al agrietamiento. Esto es especialmente importante en regiones donde las condiciones climáticas extremas, como cambios de temperatura y humedad, pueden afectar negativamente la integridad del pavimento. La incorporación de la fibra proporciona una mayor cohesión y estabilidad, reduciendo la formación de grietas.
- c. Incremento de la durabilidad: La adición de fibra del tallo de maíz también contribuye a aumentar la durabilidad del pavimento. La fibra actúa como un refuerzo estructural, mejorando la capacidad del pavimento para resistir los esfuerzos generados por el tráfico y las condiciones ambientales. Esto resulta en una mayor vida útil del

pavimento y reduce la necesidad de intervenciones de mantenimiento y reparación a largo plazo.

4.2.2.3 Potencial de aplicación en la construcción de pavimentos

La mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz presenta un alto potencial de aplicación en la construcción de pavimentos debido a sus características mejoradas. Algunos puntos destacados son:

- a. Versatilidad: La mezcla asfáltica con fibra del tallo de maíz puede ser utilizada en una amplia gama de aplicaciones de pavimentación, desde carreteras y autopistas hasta calles residenciales y estacionamientos. Esto permite su uso en diversos proyectos de infraestructura vial, adaptándose a las necesidades específicas de cada caso.
- b. Compatibilidad con métodos de construcción convencionales: La mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz puede ser producida utilizando los mismos equipos y métodos de construcción utilizados para las mezclas asfálticas convencionales. Esto facilita su implementación en proyectos de pavimentación existentes, sin requerir grandes cambios en la infraestructura o maquinaria utilizada.
- c. Cumplimiento de normativas y estándares: La mezcla asfáltica con fibra del tallo de maíz puede cumplir con las normativas y estándares de calidad y desempeño establecidos por los organismos regulatorios y entidades de control. Esto garantiza que su aplicación cumpla con los requisitos técnicos y de seguridad exigidos en la construcción de pavimentos.

En consecuencia, la incorporación de fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica brinda ventajas significativas en términos de sustentabilidad, durabilidad y resistencia. Además, presenta un gran potencial de aplicación en la construcción de pavimentos, ofreciendo alternativas más resistentes, duraderas y sostenibles para las infraestructuras viales.

4.2.3 Recomendaciones para la implementación y uso de la mezcla asfáltica con fibra del tallo de la planta de maíz

La implementación exitosa de la mezcla asfáltica con fibra del tallo de la planta de maíz requiere tener en cuenta diversas consideraciones para asegurar resultados óptimos y duraderos. A continuación, se presentan recomendaciones clave para la aplicación efectiva de esta innovadora solución en proyectos de pavimentación.

En primer lugar, se recomienda llevar a cabo un análisis exhaustivo de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con fibra de tallo de maíz, con el fin de establecer valores de referencia y parámetros de calidad. Esto permitirá evaluar la idoneidad de la mezcla en relación con los requisitos del proyecto y las normativas vigentes.

Además, es fundamental seguir estrictamente las recomendaciones de dosificación establecidas previamente, considerando la proporción adecuada de fibra del tallo de maíz en relación con los demás componentes de la mezcla. Una dosificación precisa garantiza una distribución uniforme de la fibra y contribuye a mejorar la resistencia, durabilidad y estabilidad de la mezcla asfáltica.

Asimismo, se sugiere realizar un monitoreo regular del desempeño de los pavimentos construidos con la mezcla asfáltica modificada. Esto implica llevar a cabo inspecciones periódicas para evaluar la integridad estructural, la resistencia a la fatiga y el comportamiento ante las condiciones climáticas y de tráfico. En caso de identificar deficiencias o deterioro, se deben implementar acciones correctivas de manera oportuna para mantener la calidad y prolongar la vida útil de los pavimentos.

4.2.3.1 Consideraciones técnicas y de dosificación

La incorporación de fibra del tallo de la planta de maíz en la mezcla asfáltica requiere ciertas consideraciones técnicas y de dosificación para garantizar resultados óptimos. A continuación, se presentan las consideraciones clave:

- a. Selección de la fibra de tallo de maíz: Es importante utilizar una fibra de alta calidad, preferiblemente procesada y tratada para mejorar su compatibilidad con el cemento asfáltico y su capacidad de refuerzo.

- b. Dosificación de la fibra: La dosificación adecuada de la fibra del tallo de maíz es crucial para obtener los beneficios deseados en la mezcla asfáltica. Se recomienda una proporción de alrededor del 0.5% en peso de la mezcla para lograr mejoras significativas en las propiedades mecánicas y durabilidad.
- c. Consideraciones de mezclado: Durante el proceso de mezclado, es fundamental asegurar una distribución homogénea de la fibra en toda la mezcla asfáltica. Esto puede lograrse mediante un adecuado tiempo de mezclado y control de la temperatura para facilitar la dispersión y adhesión de la fibra.
- d. Evaluación de propiedades: Se debe realizar una evaluación exhaustiva de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con fibra de tallo de maíz. Esto incluye pruebas de densidad, estabilidad, flujo, resistencia a la compresión, resistencia al agrietamiento, entre otras, para garantizar el cumplimiento de los requisitos de calidad y desempeño establecidos.
- e. Monitoreo y mantenimiento: Una vez implementada la mezcla asfáltica con fibra de tallo de maíz, es importante llevar a cabo un seguimiento periódico y un adecuado mantenimiento para evaluar su desempeño a largo plazo y tomar las medidas necesarias en caso de deterioro o fallas.

En base a ello, la tabla 31, muestra la dosificación de los componentes principales de la mezcla asfáltica modificada con fibra de tallo de maíz. La proporción de cada componente se ajusta de acuerdo a las recomendaciones obtenidas de las etapas previas de investigación y dosificación. La incorporación de la fibra del tallo de maíz en una proporción del 0.5% en peso de la mezcla es crucial para obtener los beneficios deseados en términos de resistencia, durabilidad y estabilidad de la mezcla asfáltica. Además, se destaca la importancia de los otros componentes, como el agregado pétreo, el cemento asfáltico y el filler, para lograr una mezcla bien equilibrada y con propiedades mejoradas.

La fibra del tallo de maíz actúa como un refuerzo que mejora la cohesión de la mezcla y reduce la formación de grietas. Por otro lado, el agregado pétreo proporciona la estructura granular necesaria para resistir las cargas y distribuir el tráfico de manera

uniforme. El cemento asfáltico, por su parte, funciona como el ligante que une todos los componentes y aporta cohesión a la mezcla. Finalmente, el filler desempeña un papel clave en la mejora de la compactación y la estabilidad de la mezcla asfáltica.

Es importante destacar que la dosificación precisa y equilibrada de todos los componentes es esencial para lograr una mezcla asfáltica de calidad y con propiedades mejoradas. Cada componente desempeña un papel específico en el comportamiento y rendimiento de la mezcla, y su proporción óptima se determina en función de los objetivos de resistencia, durabilidad y estabilidad establecidos.

Tabla 31 Dosificación de la mezcla asfáltica modificada con fibra de tallo de maíz

Componente	Proporción (%)	Características
Agregado pétreo	85	Granulometría adecuada, resistencia mecánica
Cemento asfáltico	5	Ligante que proporciona cohesión a la mezcla
Filler	7	Relleno que mejora la compactación y la estabilidad
Fibra del tallo de maíz	0.5	Refuerzo que mejora la resistencia y durabilidad

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

Estas consideraciones técnicas y la dosificación adecuada permiten aprovechar al máximo los beneficios de la fibra del tallo de maíz en la mezcla asfáltica, mejorando la calidad, durabilidad y desempeño de los pavimentos. Es importante tener en cuenta que estas recomendaciones pueden variar según las especificaciones y requisitos particulares de cada proyecto, por lo que se recomienda realizar evaluaciones y pruebas adicionales para adaptar la dosificación de la mezcla a las condiciones específicas de cada caso.

En conclusión, la dosificación de los componentes de la mezcla asfáltica modificada con fibra de tallo de maíz se realiza con base en las recomendaciones obtenidas de las etapas previas, considerando la proporción adecuada de cada componente para lograr una mezcla equilibrada y con las propiedades deseadas. Esta dosificación precisa y la incorporación de la fibra del tallo de maíz permiten

obtener una mezcla asfáltica de alta calidad, resistente y duradera en aplicaciones de pavimentación.

4.2.3.2 Factibilidad y viabilidad económica

La etapa de factibilidad y viabilidad económica es crucial para evaluar la conveniencia y sustentabilidad de utilizar la mezcla asfáltica no tradicional con fibra de maíz en la construcción de pavimentos. Para ello, se ha realizado un análisis exhaustivo considerando los costos asociados y los beneficios técnicos y ambientales que esta mezcla ofrece. A continuación, se presenta la tabla 32 detallada del presupuesto de referencia para la construcción de una carpeta asfáltica con mezcla tradicional y mezcla no tradicional con fibra de maíz. Los costos se expresan en dólares por metro cuadrado (USD/m²) y se basan en datos estimados para la ciudad de Guayaquil.

Tabla 32 Factibilidad y viabilidad económica

Componente	Costo por metro cuadrado (USD/m ²)
Mezcla tradicional	25.00
Agregado pétreo 1	5.80
Agregado pétreo 2	4.20
Agregado pétreo 3	3.00
Cemento asfáltico	2.50
Filler	1.00
Agua	0.50
Fibra del tallo de maíz	1.00

Elaborado por: Ibarra, J. (2023).

En esta tabla se han desglosado los costos por metro cuadrado de la carpeta asfáltica tanto para la mezcla tradicional como para la mezcla no tradicional con fibra de maíz. Se observa que el costo por metro cuadrado de la mezcla no tradicional es de 26.50 USD/m², mientras que la mezcla tradicional tiene un costo de 25.00 USD/m².

Es importante destacar que el costo adicional en la mezcla no tradicional se debe principalmente a la incorporación de la fibra del tallo de maíz, que añade un

costo de 1.00 USD/m². Sin embargo, este incremento en el presupuesto inicial se ve compensado por las mejoras en términos de resistencia, durabilidad y estabilidad que ofrece la mezcla no tradicional.

Además, es relevante considerar los beneficios ambientales asociados con la mezcla no tradicional. Al utilizar fibra de maíz como material renovable y biodegradable, se contribuye a la reducción de la huella de carbono y se promueven prácticas más sostenibles en la construcción de pavimentos.

El análisis de la factibilidad económica y viabilidad técnica de la mezcla no tradicional es fundamental para la toma de decisiones en proyectos de construcción de pavimentos. Si bien existe un pequeño incremento en el costo inicial, este se traduce en beneficios a largo plazo en términos de desempeño, durabilidad y sostenibilidad, lo que puede resultar en ahorros significativos en mantenimiento y reparaciones.

En consecuencia, la mezcla asfáltica no tradicional con fibra del tallo de maíz representa una opción prometedora y sustentable para mejorar la calidad y durabilidad de los pavimentos. La inversión adicional en esta mezcla se justifica con los beneficios técnicos y ambientales que ofrece, así como con la potencial reducción de costos a largo plazo. La decisión de implementar esta mezcla dependerá de una evaluación integral que considere todos los aspectos relevantes para cada proyecto específico.

4.2.3.3 Consideraciones para la aplicación en diferentes condiciones climáticas y de tráfico

En condiciones de clima cálido y seco, con tráfico ligero a moderado, se ha demostrado que la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz es una opción adecuada. La incorporación de fibra del tallo de maíz en una proporción óptima, como el 0.5% en peso de la mezcla, mejora la resistencia al envejecimiento y a altas temperaturas. Esto minimiza el agrietamiento y la deformación superficial, lo que contribuye a la durabilidad del pavimento. Por tanto, se recomienda un diseño de mezcla específico que considere las propiedades mecánicas y la proporción adecuada de fibra de tallo de maíz para garantizar un buen desempeño en estas condiciones.

Tabla 33 Consideraciones para la aplicación en diferentes condiciones climáticas y de tráfico

Condiciones climáticas	Condiciones de tráfico	Consideraciones
Clima cálido y seco	Tráfico ligero a moderado	<p>La mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz es una opción adecuada para climas cálidos y secos. La fibra del tallo de maíz contribuye a mejorar la resistencia al envejecimiento y a las altas temperaturas, minimizando el agrietamiento y la deformación superficial.</p> <p>Se recomienda un diseño de mezcla con una proporción óptima de fibra de tallo de maíz para garantizar un buen desempeño en estas condiciones climáticas. Además, se debe considerar un adecuado sellado de juntas y un mantenimiento regular para preservar la durabilidad del pavimento.</p>
Clima frío y húmedo	Tráfico pesado	<p>En condiciones frías y húmedas, la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz ofrece una mayor resistencia al agrietamiento por fatiga y a la deformación permanente causada por cargas pesadas. La fibra del tallo de maíz ayuda a retener la humedad en la mezcla, lo que mejora su cohesión y capacidad de soportar esfuerzos.</p> <p>Se recomienda un diseño de mezcla con un contenido adecuado de fibra de tallo de maíz y una compactación óptima para obtener un pavimento duradero en estas condiciones. Además, es importante considerar un drenaje adecuado y un mantenimiento regular para prevenir problemas relacionados con la acumulación de agua en la superficie del pavimento.</p>
Clima lluvioso	Tráfico ligero a moderado	<p>En climas lluviosos, la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz ofrece mejor estabilidad y resistencia a la erosión causada por la lluvia. La fibra del tallo de maíz mejora la cohesión de la mezcla y reduce el desprendimiento de partículas finas, lo que ayuda a mantener la superficie del pavimento en mejores condiciones.</p> <p>Se recomienda un diseño de mezcla con una adecuada proporción de fibra de tallo de maíz y</p>

		<p>una correcta compactación para lograr un pavimento resistente a la acción del agua. Además, se deben implementar técnicas de construcción adecuadas, como el sellado de juntas, para prevenir la infiltración de agua en la base del pavimento.</p>
Clima con cambios estacionales	Tráfico variado	<p>En condiciones climáticas variables, la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz muestra una buena adaptabilidad y estabilidad a lo largo del año. La fibra del tallo de maíz mejora la resistencia al agrietamiento y la fatiga, lo que contribuye a mantener la integridad estructural del pavimento.</p>
		<p>Se recomienda realizar un monitoreo regular de la condición del pavimento y llevar a cabo un programa de mantenimiento preventivo, que incluya sellado de juntas, reparación de grietas y un adecuado mantenimiento de la superficie, para asegurar un buen desempeño en condiciones cambiantes. Además, se debe considerar una planificación adecuada de las actividades de construcción para evitar realizar trabajos en momentos críticos en términos climáticos.</p>

Elaborado por: Ibarra J. (2023).

La mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz ofrece beneficios significativos en diferentes condiciones climáticas y de tráfico. En climas fríos y húmedos, con tráfico pesado, esta mezcla demuestra una mayor resistencia al agrietamiento por fatiga y a la deformación permanente causada por cargas pesadas. La presencia de fibra del tallo de maíz ayuda a retener la humedad en la mezcla, mejorando su cohesión y capacidad para soportar esfuerzos. Se recomienda un diseño de mezcla con una proporción adecuada de fibra de tallo de maíz y una compactación óptima, junto con un drenaje adecuado y un programa de mantenimiento regular.

En condiciones climáticas lluviosas, con tráfico ligero a moderado, la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz ofrece una mayor estabilidad y resistencia a la erosión causada por la lluvia. La fibra del tallo de maíz mejora la cohesión de la mezcla y reduce el desprendimiento de partículas finas, lo que ayuda

a mantener la superficie del pavimento en mejores condiciones. Se recomienda un diseño de mezcla con una proporción adecuada de fibra de tallo de maíz, una correcta compactación y la implementación de técnicas de construcción como el sellado de juntas, para prevenir la infiltración de agua en la base del pavimento.

En condiciones de clima con cambios estacionales y tráfico variado, la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz muestra una buena adaptabilidad y estabilidad a lo largo del año. La fibra del tallo de maíz mejora la resistencia al agrietamiento y la fatiga, contribuyendo a mantener la integridad estructural del pavimento. Se recomienda realizar un monitoreo regular de la condición del pavimento y llevar a cabo un programa de mantenimiento preventivo, que incluya sellado de juntas, reparación de grietas y un adecuado mantenimiento de la superficie.

En síntesis, la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz presenta ventajas específicas para distintas condiciones climáticas y de tráfico. La optimización del diseño de mezcla, la dosificación adecuada y un programa de mantenimiento apropiado son esenciales para asegurar un pavimento duradero y resistente en cada situación. Estas consideraciones son fundamentales en la planificación y desarrollo de proyectos de construcción de pavimentos, con el objetivo de maximizar el rendimiento y la vida útil de la infraestructura vial.

CONCLUSIONES

Luego de llevar a cabo esta investigación, se han obtenido conclusiones significativas en relación al uso de la fibra del tallo de la planta de maíz en la elaboración de mezclas asfálticas. En primer lugar, el examen minucioso de la literatura actual relacionada con el diseño y las propiedades de las mezclas asfálticas ha brindado una base sólida para comprender los aspectos fundamentales del comportamiento de estos materiales. Se ha confirmado que las mezclas asfálticas tradicionales son ampliamente utilizadas debido a su capacidad para soportar cargas de tráfico pesado y resistir las adversidades climáticas. No obstante, también se ha advertido la necesidad de buscar alternativas más sostenibles y amigables con el medio ambiente para mejorar la durabilidad de las vías y pavimentos.

En el diagnóstico de la situación actual de las mezclas asfálticas tradicionales en Guayaquil, se han identificado preocupantes cifras de daño en las vías y pavimentos de la ciudad. El aumento del parque vehicular en un 12% desde 2017 hasta junio de 2023 ha ejercido una mayor demanda sobre las infraestructuras viales, lo que ha contribuido al rápido deterioro de las carreteras. En específico, el porcentaje de daño en las vías ha aumentado significativamente, alcanzando un preocupante 45% en 2023. Estos datos evidencian un estado avanzado de deterioro y subrayan la importancia de implementar soluciones innovadoras y sostenibles para mejorar la calidad y durabilidad de las infraestructuras viales en la ciudad.

En consecuencia, la propuesta de adicionar fibra del tallo de la planta de maíz en las mezclas asfálticas ha resultado efectiva y coherente con los objetivos de la investigación. Los resultados de los ensayos físicos y mecánicos han demostrado mejoras significativas en la estabilidad frente a sollicitaciones de carga cuando se incorpora la fibra de maíz en las mezclas asfálticas. Esta incorporación ha revelado un efecto de refuerzo en la mezcla, mejorando su capacidad para resistir cargas repetidas y deformaciones, lo que corrobora la hipótesis inicial planteada.

Es evidente que la investigación representa un avance significativo en el campo de la ingeniería civil, ofreciendo una alternativa sostenible y efectiva para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas tradicionales. La adición de fibra del tallo de la planta de maíz no solo proporciona mejoras en la estabilidad y

durabilidad de los pavimentos, sino que también contribuye a reducir la dependencia de recursos no renovables y promueve prácticas más sostenibles en la construcción de infraestructuras viales.

En conclusión, la incorporación de fibra del tallo de la planta de maíz en las mezclas asfálticas representa una solución innovadora y viable para mejorar la estabilidad y resistencia de los pavimentos en la ciudad de Guayaquil. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad de esta alternativa y su potencial para mejorar la durabilidad de las infraestructuras viales. La investigación ha cumplido con los objetivos planteados, y la hipótesis ha sido confirmada exitosamente. La aplicación de esta tecnología en proyectos de construcción de pavimentos puede contribuir significativamente al desarrollo económico y social de la región, al tiempo que se promueve la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios adicionales: Aunque esta investigación ha proporcionado resultados prometedores, se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para explorar aún más las propiedades y comportamiento de la mezcla asfáltica modificada. Estos estudios pueden incluir pruebas a largo plazo en diferentes condiciones climáticas y de tráfico, así como análisis de desempeño en situaciones extremas. Esto permitirá obtener una comprensión más completa de las ventajas y limitaciones de esta opción de material alternativo.
- Establecer lineamientos y estándares: Es importante desarrollar lineamientos y estándares específicos para la dosificación y aplicación de la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz. Estos lineamientos deben ser definidos por las autoridades competentes en ingeniería vial y considerar las condiciones locales, el tráfico, el clima y otros factores relevantes. Estos lineamientos proporcionarán una base técnica sólida para los diseñadores y constructores de pavimentos, garantizando la calidad y el desempeño óptimo de la mezcla.
- Capacitar al personal y promover la conciencia: Es fundamental capacitar al personal involucrado en la implementación y mantenimiento de la mezcla asfáltica modificada con fibra del tallo de maíz. Esto incluye a los ingenieros, técnicos y trabajadores en la construcción de pavimentos. La capacitación debe abarcar aspectos relacionados con la dosificación, el manejo de materiales, las técnicas de construcción y el mantenimiento adecuado. Además, se debe promover la conciencia sobre los beneficios de esta opción de material alternativo, tanto entre los profesionales de la ingeniería civil como entre las autoridades y los *stakeholders* de la industria de la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Adrianzen Flores, O. J., Azula Vásquez, J. J., Pacherras Sánchez, C. F., Rodríguez Lafitte, E. D., & Muñoz Pérez, S. P. (Agosto de 2022). Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria. *Revista de Infraestructura Vial*, IV(16), 54.
- Al-Bdairi, A., Al-Taweel, H. M., & Noor, H. M. (Diciembre de 2020). Mejora de las propiedades de la mezcla asfáltica utilizando materiales fibrosos. *Serie de conferencias IOP: Ciencia e ingeniería de materiales*, III(7), 56.
- Aljubory, A., Abbas, A. S., & Bdan, F. (Mayo de 2020). Efecto de las Fibras de Palma en el Pavimento Asfáltico. *Serie de Conferencias IOP: Ciencia e Ingeniería de Materiales*, 21(8), Agosto.
- Bazán, J. H. (2022). *Análisis de propiedades de mezclas asfálticas en caliente con adición de aceite de soya de acuerdo las normas MTC - 2022*. Investigación científica, Universidad César Vallejo, Escuela de Ingeniería Civil, Lima. Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo.
- Bravo, G. M. (2021). *Mezcla asfáltica SMA, fibra, ceniza del bagazo de caña de azúcar y su desempeño mecánico*. Investigación científica, Universidad Ricardo Palma, Escuela de Posgrado. Maestría en Ingeniería Vial con Mención en Carreteras, Puentes y Túneles, Lima. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma.
- Bueno, M., & Poulidakos, L. (Junio de 2020). Evaluación quimio-mecánica de mezclas asfálticas reforzadas con fibras sintéticas. *Revista Fronteras en el entorno construido*, 11(6), 56.
- Cárdenas, P. A. (2019). *Diseño de pavimentos y análisis económico de la calle paseo tres de noviembre de la ciudad de Cuenca*. Universidad San Francisco de Quito, Programa de Maestría en Ingeniería Civil de la Innovación. Quito: USFQ.
- Castillo, S. A., & Freire, R. A. (2021). *Comportamiento de las propiedades mecánicas de material reciclado de mezcla asfáltica*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Programa de Maestría en Ingeniería Civil . Quito: PUCE.
- Choez, M. L., & Bajaña, W. E. (2022). *Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. Guayaquil: ULVR. Repositorio Digital ULVR.
- Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos. (2016). *Título III. De los espacios para el desarrollo del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología, Innovación y Saberes Ancestrales. Artículo 18, innovación de materiales y sustentabilidad*. Legislación ecuatoriana, Asamblea Nacional, Quito.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Sección octava. Ciencia, Tecnología, Innovación y Saberes Ancestrales*. Legislación constitucional, Asamblea Constituyente, Montecristi.
- Costa, L. F., Barros, A. G., Lopes, L. C., & Lucena, A. E. (Noviembre de 2020). Asphalt mixture reinforced with banana fibres. *Road Materials and Pavement Design*, IV(6), 54.

- Departamento de Planificación y Obras Públicas del GAD Municipal de Guayaquil . (2023). *Planificación y obras públicas urbanísticas del GAD Municipal de Guayaquil*. Informe de Planificación Urbana, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guayaquil, Guayaquil.
- Desseaux, S., dos Santos, S., Geigerb, T., Tingautb, P., Zimmermannb, T., Partl, M., & Poulikakos, L. (Abril de 2018). Mejora de las propiedades mecánicas del betún modificado con fibras de celulosa acetilada. *Composites Part B: Engineering*, 11(14), 87.
- Elizalde, D. S., & Parrales, M. J. (2023). *Pavimento asfáltico con agregado de fibra de celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción . Guayaquil: ULVR. Repositorio Digital ULVR.
- Farfán, B., & Collantes, R. J. (2019). *Análisis y propuesta de carpeta asfáltica con la tecnología (S.M.A.) modificada con fibra natural de caña de azúcar, Cusco 2018*. Investigación científica, Universidad Andina del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima. DSpace Universidad Andina del Cusco.
- Fernández, M. A., & Vilca, B. (2022). *Propiedades del ligante asfáltico modificado por fibra de tallo de maíz*. Investigación científica, Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima.
- Gómez, J. A., Garnica, P., & Romero, S. A. (2017). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Investigación científica, Instituto Mexicano del Transporte, Departamento de Investigación y Desarrollo de la Construcción Civil, México D.F.
- Gonçalves Duarte Mendonça, A. M., De Medeiros Melo Neto, O., Guedes Rodrigues, J. K., Batista de Lima, R. K., Silva, I. M., Ferreira de Sousa Neto, V., . . . Dantas Guerra, T. (Julio de 2021). Effect of the incorporation of sugarcane bagasse fibers in asphalt mixture dosed by the superpave method. *Reseach, Society and Development*, 12(6), 65.
- González, E. C. (2022). *Incorporación de ceniza de tallos de retama como filler en las propiedades de mezcla asfáltica en Av. Leandra Torres, Junín - 2022*. Investigación científica, Universidad César Vallejo, Escuela de Ingeniería Civil, Lima. Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo.
- Guan, B., Liu, J., Wu, J., Liu, J., Tian, H., Huang, T., . . . Ren, T. (Mayo de 2019). Investigation of the performance of the ecofriendly fiber-reinforced asphalt mixture as a sustainable pavement material. *Advances in Materials Science and Engineering*, 11(7), 54.
- Gutiérrez Klinsky, L. M., Kaloush, K. E., Faria, V. C., & Dos Santos Bardini, V. S. (Julio de 2018). Performance characteristics of fiber modified hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 11(8), 98.
- Kara De Maeijer, P., Soenen, H., Van den bergh, W., Blom, J., Jacobs, G., & Stoop, J. (Marzo de 2019). Peat fibers and finely ground peat powder for application in asphalt. *Infrastructures*, X(16), 98.

- Li, Z., Guo, T., Chen, Y., Liu, J., Ma, J., Wang, J., & Jin, L. (Mayo de 2022). Study on pavement performance of cotton straw cellulose modified asphalt. *Materials Research Express*, 14(2), 85.
- Maharaj, R., Ali, R., Ramlochan, D., & Mohamed, N. (Agosto de 2019). Utilization of coir fibre as an asphalt modifier. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, IV(56), 65.
- Marres, H. G. (2019). *Evaluación del comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas de bambú, Lima – 2019*. Investigación científica, Universidad César Vallejo, Escuela de Ingeniería Civil, Lima. Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo.
- Montejo-Ávila, K. J., & Nieto-Bohórquez, L. P. (2021). *Comparación de asfalto convencional frente a asfalto modificado con material orgánico y gránulo de caucho*. Universidad Católica de Colombia, Escuela de Ingeniería Civil. Bogotá: UCC. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia - RIUCaC.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2016). *Artículos NEC: Diseño y materiales resistentes, principios generales de sustentabilidad en la construcción*. Legislación ecuatoriana de la construcción, Asamblea Nacional del Ecuador, Quito.
- Orellana, R. E. (2019). *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maíz*. Investigación científica, Universidad Ricardo Palma, Escuela de Posgrado. Maestría en Ingeniería Civil con mención en Carreteras, Puentes y Túneles, Lima. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma.
- Parimita, P. (Junio de 2020). Influence of natural fibers as additive on characteristics of stone mastic asphalt. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 7(1), 98.
- Pomari, C. (2022). *Influencia de la ceniza del tronco de eucalipto en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, Puno 2022*. Investigación científica, Universidad César Vallejo, Escuela de Ingeniería Civil, Lima. Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87404>
- Universidad Laica Vicente Rocafuerte. (2023). *Líneas de Investigación: Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción; Carrera de Ingeniería Civil*. Informe de desarrollo institucional para la investigación, ULVR, Departamento de Investigación, Guayaquil.
- Velásquez, M. A., & Quispe, J. C. (2022). *Adición de ceniza de cascara de trigo y tallo de maíz para mejorar la subrasante, carretera San Pablo - Chara, Cusco 2021*. Investigación científica, Universidad César Vallejo, Escuela de Ingeniería Civil, Lima. Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo.
- Zia, A., & Ahmad Khan, A. (Agosto de 2021). Effectiveness of bagasse ash for performance improvement of asphalt concrete pavements. *SN Applied Sciences*, IV(5), 65.

ANEXOS

Anexo 1 Vías y pavimentos dañados, evidenciados de la ciudad de Guayaquil



Anexo 2 Vías y pavimentos dañados, evidenciados de la ciudad de Guayaquil



Anexo 3 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 4 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 5 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 6 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 7 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 8 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 9 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 10 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



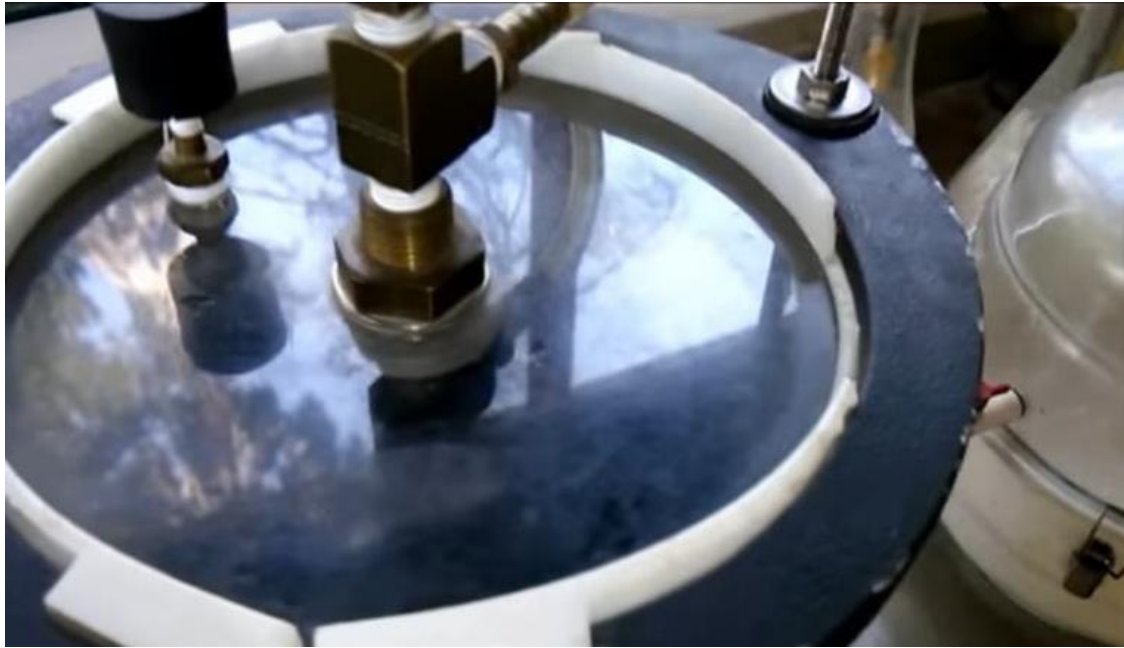
Anexo 11 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 12 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 13 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 14 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 15 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 16 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 17 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 18 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 19 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas



Anexo 20 Equipo de investigación, pruebas físicas y mecánicas

