

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**Aprovechamiento del reciclado de caucho para
mejorar la durabilidad del pavimento flexible**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERIA CIVIL**

Autores

Mio Tesen Erick Antonio

<https://orcid.org/0000-0003-1866-5038>

José Guillermo Salirrosas Rubio

<https://orcid.org/0000-0002-0699-8962>

Asesor

Mg. Bravo Ruiz, Jaime Arturo

<https://orcid.org/0000-0003-1929-3969>

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

Sublínea de Investigación

**Innovación y tecnificación en ciencia de los materiales, diseño e
infraestructura.**

Pimentel – Perú

2024


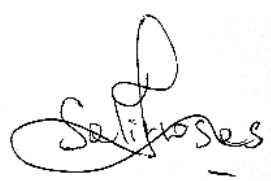
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscriben la DECLARACIÓN JURADA, somos estudiante (s) del Programa de Estudios de **la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

Aprovechamiento del reciclado de caucho para mejorar la durabilidad del pavimento flexible.

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS), conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Mio Tesen Erick Antonio	DNI: 75566893	
Salirrosas Rubio Jose Guillermo	DNI: 76749053	

Pimentel, 22 de agosto de 2024.

PAPER NAME	AUTHOR
ARTICULO DE INVESTIGACIÓN_TESEN Y SALIRROSAS	-

WORD COUNT	CHARACTER COUNT
3703 Words	20483 Characters

PAGE COUNT	FILE SIZE
19 Pages	24.1KB

SUBMISSION DATE	REPORT DATE
Sep 17, 2024 9:42 AM GMT-5	Sep 17, 2024 9:42 AM GMT-5

● **22% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 19% Internet database
- 13% Submitted Works database
- 1% Publications database

Dedicatoria

De: Mio Tesen Erick Antonio

Dedico este trabajo a mi madre, hermano y abuelos que me han inspirado y apoyado a lo largo de este camino. Con especial gratitud a Dios, quien me ha guiado en cada paso para cumplir esta meta de ser un profesional.

De: Salirrosas Rubio Jose Guillermo

Dedico a Dios, quien me ha dado fuerza y sabiduría para llegar hasta aquí. A mis padres, a mis hermanos por su comprensión y apoyo incondicional por estar siempre a mi lado en cada paso de este arduo camino.

Agradecimientos

De: Mio Tesen Erick Antonio

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Señor de Sipán por su invaluable apoyo en estos años de carrera. Su entorno académico y su compromiso con la excelencia han sido fundamentales para mi formación como profesional.

De: Salirrosas Rubio Jose Guillermo

A la Universidad Señor de Sipán por la plana docente que nos brindó una formación académica de calidad y que forman parte de nuestra formación profesional.

Índice

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	8
1.2. TRABAJOS PREVIOS.....	9
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.4. HIPOTESIS	11
1.5. OBJETIVOS.....	11
1.5.1. OBJETIVO GENERAL:	11
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	11
1.6. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA	12
1.6.1. MEZCLA ASFÁLTICA CON CAUCHO RECICLADO	12
1.6.2. ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO RECICLADO	12
II. METODOS DE INVESTIGACIÓN.....	13
2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	13
2.2. VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN	13
2.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	13
2.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE	13
2.3. TECNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD	13
2.3.1. TECNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	13
III. RESULTADOS	14
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	15
4.1. DISCUSIONES.....	15
4.2. CONCLUSIONES	16
V. REFERENCIAS	16

RESUMEN

El uso de caucho reciclado en la construcción de pavimentos flexibles ha ganado relevancia internacional y en Perú, destacando su potencial para mejorar la durabilidad y resistencia de las carreteras. El objetivo principal es evaluar cómo la adición de caucho reciclado puede optimizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, reduciendo costos y promoviendo la sostenibilidad en la infraestructura vial. La discusión revela que el caucho reciclado incrementa la resistencia del pavimento a grietas, deformaciones y altas temperaturas, además de reducir la necesidad de mantenimiento. Sin embargo, se subraya la importancia de realizar más investigaciones para perfeccionar la proporción de caucho en las mezclas y garantizar su rendimiento en diversas condiciones ambientales. En conclusión, la inclusión de caucho reciclado en pavimentos flexibles se presenta como una alternativa viable y rentable, con beneficios tanto económicos como ambientales, alineándose con los objetivos globales de desarrollo sostenible. A pesar de los avances observados, es crucial continuar optimizando este enfoque y fomentar políticas que respalden el uso de materiales reciclados en la construcción vial.

Palabras clave: Caucho reciclado, Pavimento flexible, Sostenibilidad, Infraestructura vial

ABSTRACT

The use of recycled rubber in the construction of flexible pavements has gained relevance internationally and in Peru, highlighting its potential to improve the durability and strength of roads. The main objective is to evaluate how the addition of recycled rubber can optimize the mechanical properties of asphalt mixtures, reducing costs and promoting sustainability in road infrastructure. The discussion reveals that recycled rubber increases pavement resistance to cracking, deformation and high temperatures, in addition to reducing the need for maintenance. However, it underlines the importance of further research to refine the proportion of rubber in mixtures and ensure its performance in various environmental conditions. In conclusion, the inclusion of recycled rubber in flexible pavements is presented as a viable and cost-effective alternative, with both economic and environmental benefits, in line with global sustainable development goals. Despite the progress observed, it is crucial to further optimize this approach and encourage policies that support the use of recycled materials in road construction.

Keywords: Recycled rubber, Flexible pavement, Sustainability, Road infrastructure, Road infrastructure

I. INTRODUCCIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

NIVEL INTERNACIONAL

Para el desarrollo sostenible de la infraestructura social de las carreteras en todo el mundo, debe estar a la altura de necesidades cotidianas compromiso de todos al futuro, entonces se deben aplicar las medidas adecuadas, así poder garantizar la disponibilidad y la utilización del caucho reciclado en la elaboración de los pavimentos flexibles como material de construcción de buen desarrollo a futuro, pero cuando se utilice este material en la construcción de estos pavimentos sus propiedades hacen que sean adecuados para su aplicación, por lo tanto, es una buena práctica ecológica para reducir las sustancias dañinas que estos mismos generan al medio ambiente [1].

Este caucho nos brindará una mejor solidez y resistencia, al utilizarse en la construcción como material alternativo que permitirá reducir los costos del proyecto y así ayudará a aumentar el tiempo de vida de la carretera [2].

El caucho al ser reciclado debe ser seguro y que nos garantice que no se generará ningún impacto negativo hacia el medio ambiente, para poder utilizar el caucho siempre debe haber la ayuda política en el departamento de Lambayeque y su aplicación debe ser en las mezclas de concreto asfáltico [3].

Según [4], menciona que la industrialización y el continuo aumento de la población a nivel mundial ha generado inmensamente a varios tipos de residuos sólidos que la mayoría de las veces son arrojados indiscriminadamente; estas actividades tienen efectos negativos que resultan en contaminación ambiental que podría ser una amenaza para el medio ambiente; además, para preservar el medio ambiente, muchos investigadores se han esforzado por garantizar que algunos de estos desechos se reciclan y se utilicen en la producción de diversos materiales alternativos como medio de tecnología sostenible.

NIVEL NACIONAL

Hoy en día los avances tecnológicos nos muestra un gran paso hacia la mejora de los pavimentos en nuestro país, donde por ejemplo hay una gran cantidad de variedad donde estos productos garantizaran una buena resistencia y durabilidad ante los distintos climas y al gran peso que se someterá al movimiento de los vehículos, debido a muchos factores que producen a los pavimentos tales como el deterioro nos da la necesidad de diseñar un mejor diseño es por esto que según los

estudios es una muy buena opción hacer una adición de caucho reciclado para mezclarlos con los agregados trayendo mejores resultados en su resistencia [5]

Según [6]; la mezcla asfáltica de caucho reciclado en nuestro país sirve como un gran beneficio para la mezcla de asfalto, es por esto que para hacer este diseño se hizo un experimento de instrumentos para medir las variables de un diseño asfáltico dando como buenos resultados un mejor material para este uso en carreteras siendo ya aplicadas en muchas partes del Perú.

La adición de caucho reciclado hoy en día se está volviendo muy común en el Perú por sus magníficas propiedades que hace que sea más fuerte ante la corrosión y en su resistencia es así como cada día se espera una mejor trabajabilidad de este material y hagan un buen uso las empresas contratistas net este tipo de proyectos que permiten estas vías de acceso un mejor desarrollo a nuestro país.

1.2. TRABAJOS PREVIOS

NIVEL INTERNACIONAL

La investigación demuestra que la adición de caucho granulado aumenta el módulo complejo del betún y disminuye la deformación permanente en las mezclas asfálticas. SBR es otro polímero bien conocido que está hecho de estireno, butadieno y caucho que puede cambiar positivamente las propiedades del betún. Más específicamente, el estireno aumenta la elasticidad y el butadieno aumenta la rigidez del betún. Además, mejora la flexibilidad y la elasticidad de los aglomerantes y las mezclas asfálticas, lo que conduce a una mayor resistencia al agrietamiento a baja temperatura [7].

Debido a la elasticidad de la goma, el asfalto cauchutado suele recuperar la deformación después de la fase de compactación. Por lo tanto, al usar una reutilización estándar de CR en mezclas asfálticas, el porcentaje de caucho en las mezclas CR no puede incrementarse significativamente. Como tal, la pequeña cantidad de CR utilizada en esta aplicación no justifica todo el consumo adicional de recursos y emisiones asociadas con su tratamiento [8].

Para investigar las propiedades de varias mezclas de hormigón llegó a la conclusión de que la llanta de caucho de desecho se puede utilizar para hacer hormigón engomado trabajable. El mismo estudio encontró que las mezclas de concreto engomado mostraron menor peso unitario en comparación con el concreto simple [9].

Según [10], el caucho asfáltico puede mejorar significativamente el rendimiento de las superficies de la carretera contra la formación de surcos, el rendimiento a altas

temperaturas, las grietas por reflexión, la estabilidad del agua y el agrietamiento por fatiga. Además, también tiende a reducir el mantenimiento de la carretera, mejorar el deslizamiento y reducir el ruido de la carretera.

NIVEL NACIONAL

En nuestro país hoy en estos últimos tiempos se viene haciendo muchos proyectos viales permitiendo así un mayor desarrollo para nuestra nación ayudando a la población a tener un mejor tránsito a cualquier parte del país. Tal es así que las empresas buscan hacer carreteras con diferentes tipos de materiales y así tener una menor contaminación ambiental y menor gasto en la ejecución de un proyecto vial [11]

Para [12], la construcción de proyectos viales en el Perú se viene desarrollando una nueva forma de construcción de los pavimentos flexibles haciendo uso en ello con un material conocido como el “caucho”. Como por ejemplo en la ciudad de Lima fue utilizado el caucho granular en la subrasante donde también fue usado un componente químico donde esto tuvo como intención mejorar su capacidad portante de su subrasante. Demostrando un buen efecto con las adiciones tanto como el caucho como el terrazyme donde se pudo lograr una reestructuración en su subrasante en un estado óptimo.

En este siglo XXI en el Perú respecto al tema de obras viales es de mucha importancia más aún cuando está en crecimiento, así mismo en el sector automotriz va creciendo en gran cantidad debido a la venta que se da en la ciudad de Tacna. Es por eso es de vital importancia un buen pavimento para un mejor tránsito donde se pueda aplicar materiales como el caucho reciclado como un material componente como un tipo de asfalto modificado, teniendo así un buen diseño que garantiza una mejor durabilidad, como también adherencia y como también una resistencia al envejecimiento a las deformaciones plásticas. Esto tiene una gran diferencia al utilizar estos materiales a comparación de un asfalto convencional siendo un poco menos durable [13].

La construcción de pavimentos flexibles en el Perú hay presencia de fallos debido a la aparición de fisuras esto trae la consecuencia de perder su vida útil donde trae grandes costos para su mantenimiento y su operación vehicular. Y por esto es que mejorar su comportamiento implicaría identificar los materiales que lo componen, así como sus propiedades. Es por ello por lo que se debe emplear mejores materiales para tener una mejor duración de vida útil tal es así que ya en diferentes partes del país se está llevando a cabo nuevos avances en la construcción de pavimentos flexibles utilizando polvo de caucho reciclado [14].

NIVEL LOCAL

El objetivo es diseñar un pavimento flexible utilizando caucho reciclado de neumáticos como aditivo. Para ello, se emplea la norma AASHTO y el método Marshall, a fin de determinar todos los parámetros necesarios para el diseño del pavimento. A partir de estos datos, se busca establecer la proporción óptima de caucho reciclado a incorporar en la mezcla asfáltica y analizar sus beneficios desde las perspectivas económica, social y ambiental. Este enfoque promueve el reciclaje de caucho, con el propósito de mejorar las vías, prolongar su vida útil y reducir los costos de mantenimiento o reparaciones a largo plazo, beneficiando así a la población. [15].

Las características de la carpeta asfáltica en la carretera Monsefú-Valle Hermoso podrían ser mejoradas mediante un análisis que permita reemplazar completamente los materiales convencionales por reciclados, como el caucho, en mezclas asfálticas calientes, buscando que estas nuevas mezclas mantengan las propiedades físicas y mecánicas requeridas en la industria de la construcción. Usando una mezcla que incluya polvo de caucho en una proporción específica, se ha observado que, aunque algunos resultados quedaron por debajo de los estándares de la normativa peruana, también se obtuvieron resultados favorables. Se concluye que la incorporación de caucho en un rango de 0.5% a 1% mejora las propiedades físico-mecánicas del diseño de mezclas asfálticas modificadas con caucho [16].

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo obtener mayor durabilidad con caucho reciclado en la elaboración de pavimento flexible?

1.4. HIPOTESIS

El caucho reciclado influye considerablemente en las propiedades mecánicas en la elaboración de los pavimentos flexibles.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL:

Mejorar la durabilidad de la mezcla asfáltica del pavimento flexible con la adición del caucho reciclado.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar los fallos del asfalto mediante ensayos en el pavimento flexible
- Describir el mejoramiento de las propiedades de la mezcla asfáltica con el caucho incorporado

- Evaluar las características de la mezcla asfáltica con el adiciónamiento del caucho

1.6. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA

1.6.1. MEZCLA ASFÁLTICA CON CAUCHO RECICLADO

Procesos que se fabrican tanto en húmedo y seco, en el método húmedo acá las partículas propias del caucho reciclado suelen mezclarse con el asfalto calentado, esto es antes de hacerse la mezcla con los agregados calentados, en cuanto al método seco, cierta parte de los agregados se sustraen con partículas de este mismo caucho, luego se mezclan con los agregados ya calentados antes de mezclarlo con el asfalto. [17].

1.6.2. ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO RECICLADO

Este asfalto comúnmente se produce en una terminal de asfalto, posteriormente al caucho se deja cocinar a altas temperaturas que pueden ser durante horas o días bajó a una continua agitación, las terminales son las encargadas de agregar productos químicos de manera rutinaria al aglutinante para así lograr cumplir las especificaciones de calidad y rendimiento, una vez ya terminado este producto se procede a bombear a los camiones o vagones, en estos es donde se transporta y se almacena en un tanque específico antes de su uso [18].

1.6.3. CAUCHO

El caucho natural se extrae de árboles mediante un corte diagonal que se hace a la corteza de estos, que al llorar se deja caer la sustancia látex y se recogen en recipientes, que luego se transforma y posteriormente se mezclan con sustancias para que se logre modificar sus características y propiedades [19].

1.6.4. CAUCHO RECICLADO

Este método se efectúa mediante sistemas mecánicos que se le hace a la llanta desechada o no desechada, pueden ser de cualquier tamaño y ha sido retirado de su uso original, lo podemos encontrar dañadas, defectuosas, desgastadas, ya que estas no se pueden reparar al culminar su vida útil, ni reutilizar en los vehículos que lo necesitan [20].

1.6.5. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Estos tipos de pavimentos son los más favoritos que se realizan con materiales vírgenes como los áridos, cemento, betún, cal y aditivos los cuales permiten hacer su respectiva construcción [21].

1.6.6. GRAVA

Son partículas granulares de tamaño variable, este material se origina por fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial, por lo tanto, a este se le conoce como agregado grueso, además este último caso actúa los procesos de chancado o triturado utilizados en las respectivas plantas de áridos y su granulometría varía de entre los 2 mm y los 6 cm [22].

II. METODOS DE INVESTIGACIÓN

2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Una investigación es identificada para ser aplicada, ya que se encarga de establecer información confiable ante la realidad mediante la recolección de información y nos permite realizar los análisis de datos que son obtenidos de los laboratorios para encontrar una solución a la hipótesis planteada en la investigación. Teniendo como base una medición numérica donde se puede establecer patrones según el comportamiento de las muestras en el estudio [23].

El diseño en esta investigación es experimental porque está cargada de mantener los tipos de variables de control constante, en cambio las otras solo miden como sujetos del experimento.

2.2. VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN

2.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Caucho reciclado

2.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Durabilidad del pavimento flexible

2.3. TECNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

Al realizar un trabajo de investigación, es necesario prestar atención a los métodos, métodos y herramientas como cosas que brindan una fuerte evidencia de investigación, donde el método de seguimiento del estudio, los métodos forman un grupo de herramientas que forman el método, cuando la herramienta incluye una fuente o entorno, que ayuda a realizar una investigación, además, el uso de métodos de recopilación de información es una plataforma donde la información se analiza y cambia para producir información útil. que proporciona información y apoyo para la toma de decisiones [24].

2.3.1. TECNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

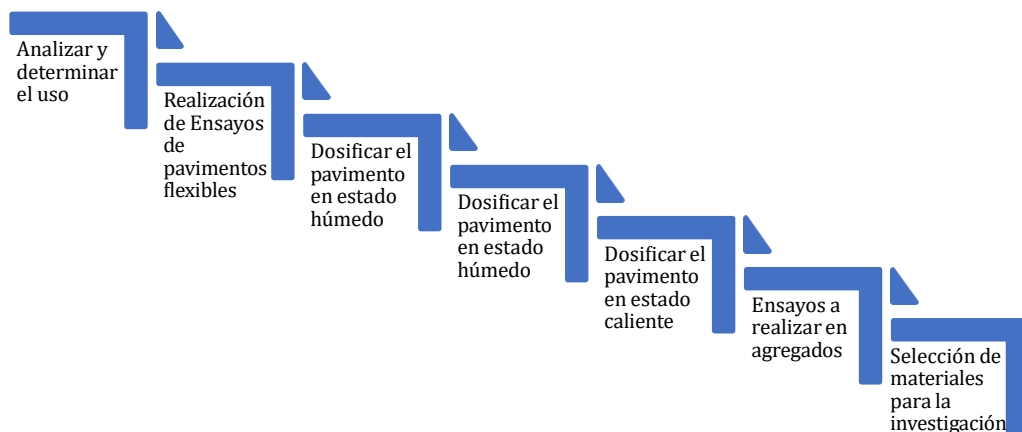
La técnica que vamos a considerar en esta investigación es la de sitios web confiables ya que el material que aparece procede de la comunidad científica,

universitaria y profesional, lo que garantiza una gran calidad de la información y para eso utilizaremos en páginas confiables. En donde dichos criterios o dimensiones cubren aspectos como la información adecuada del autor, los créditos de la página, la fiabilidad y pertinencia de los contenidos junto con los propósitos del portal.



Imagen: Técnica de recolección de datos

2.4. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS



Fuente: Elaboración propia

III. RESULTADOS

Por consiguiente [25], en su tesis presenta sus hallazgos, indicando que las mezclas asfálticas probadas (mezclas asfálticas modificadas) con caucho de llantas recicladas cumplen con los requisitos técnicos para asfalto modificado con caucho. Estas demuestran que es viable utilizar caucho proveniente de neumáticos reciclados en el país para mejorar la transitabilidad de la infraestructura vial. La incorporación de caucho mejora notablemente las propiedades físico-mecánicas del pavimento, prolongando su vida útil, y se ha verificado que la adición de neumáticos reciclados al asfalto es un proceso sencillo, con una materia prima fácilmente disponible debido al desecho de neumáticos usados.

Según [26], señala que al incorporar caucho de llantas recicladas al asfalto bajo las mismas condiciones de producción de mezclas asfálticas, se observa que a menor contenido de caucho, el asfalto se torna más flexible, mientras que un mayor contenido lo hace más rígido. Su adición mejora las propiedades físico-mecánicas del asfalto, ya que disminuye su sensibilidad térmica, incrementa la cohesión y la impermeabilidad, lo que garantiza un buen desempeño de la capa superficial del pavimento. Ambos estudios destacan que el uso de asfalto modificado con caucho ofrece ventajas técnicas significativas: mejora la cohesión, optimiza la impermeabilización del pavimento, aumenta la resistencia a grietas y deformaciones permanentes, reduce el recubrimiento y la sensibilidad térmica, y disminuye el riesgo de formación de grietas en el revestimiento. Además, los costos de producción son bajos y contribuye a reducir la contaminación ambiental al reutilizar neumáticos desechados.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSIONES

En Perú, al igual que en otras naciones, las normativas de ingeniería garantizan la seguridad de las estructuras construidas. De acuerdo con [27], se permite analizar un producto como material compuesto mediante la combinación de un recubrimiento flexible con fibras plásticas, lo que evidencia una mayor resistencia y durabilidad. El uso de polietileno de baja densidad en pavimentos asfálticos ha sido evaluado a través de pruebas ambientales, las cuales han demostrado que la consistencia del sistema disminuye la vulnerabilidad a la humedad, a bajas temperaturas, y a la deformación lateral en la base de la capa asfáltica. Estas pruebas mecánicas, realizadas con neumáticos dobles de 50 kN y un radio de contacto de 106,5 mm, confirman la estabilidad del material y su capacidad para extender la vida útil del pavimento.

Es importante destacar que [28], en línea con nuestro proyecto de investigación, se ha demostrado mediante ensayos que el polvo de caucho es un excelente adherente para los agregados en mezclas asfálticas en caliente, cumpliendo con los estándares de las normas viales peruanas, derivadas de normas internacionales de diseño. Al ser un material adherente, facilita la unión entre los componentes, permitiendo una reducción del 16% en el uso de cemento asfáltico por metro cúbico. En esta investigación se concluye que el caucho reciclado no solo mejora las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente al sustituir parte del cemento asfáltico, sino que también contribuye a la protección del medio ambiente al reutilizar caucho

que, de otro modo, sería desechado o incinerado sin aprovechar su potencial en aplicaciones alternativas.

4.2. CONCLUSIONES

- La adición de caucho reciclado en nuestra zona aún no ha sido puesta a prueba, sin embargo, se ha visto que su implementación dentro de la mezcla del pavimento. Además, si se llega a implementar, se verá como una alternativa muy viable y rentable, ocasionando que se reduzcan daños y perjuicios.
- Su implementación puede ocasionar una mejora significativa del rendimiento de la superficie de la carretera contra la formación de surcos, grietas por flexión, agrietamiento por fatiga y a la vez, un mayor rendimiento ante altas temperaturas. Esta mezcla también puede ocasionar una reducción de mantenimiento de la carretera, siendo un beneficio económico a la vez.
- El enfoque hacia el reciclaje de caucho en la construcción de pavimentos flexibles no solo contribuye a la innovación en la ingeniería civil, sino que también representa un paso importante hacia la sostenibilidad, ya que al reducir la cantidad de residuos y mejorar la eficiencia de los recursos en la construcción, este método se alinea con los objetivos globales de desarrollo sostenible, ofreciendo beneficios tanto económicos como ambientales.
- A pesar de las mejoras en la calidad del pavimento que ofrece el uso de caucho reciclado, es crucial que se realicen investigaciones adicionales para optimizar la proporción de caucho en las mezclas asfálticas y para evaluar su rendimiento en diferentes condiciones ambientales y de tráfico. Además, se debe seguir fomentando el desarrollo de políticas que apoyen la adopción de materiales reciclados en la construcción vial, asegurando que estos cumplan con los estándares técnicos y ambientales.

V. REFERENCIAS

- [1] J. A. Avendaño Castellano, L. D. Solano Duarte, V. A. Ulloa MAyorga y F. A. Reyes Lizcano, «Análisis de los efectos de incluir agregados de concreto reciclado en bases asfálticas de pavimentos flexibles para una malla vial teórica de tráfico bajo, modelados en un Sistema de Gestión de Pavimentos,» *Pontificia Universidad Javeriana*, vol. 4, n° 15, pp. 43-57, 2022.
- [2] J. G. Bastidas Martínez, H. A. Rondón Quintana , L. Contreras Zartha, S. Forero Castaño y L. Rojas Rozo, «Evaluación de una mezcla de concreto asfáltico con incorporación de agregados reciclados de concreto,» *UIS Ingenierías*, vol. 20, n° 2, 2021.

- [3] P. M. Flores Torres, A. Gatica, D. Trinidad y V. Sulca, «Uso de Grano de Caucho Reciclado para mejorar la resistencia y durabilidad en pavimentos: una revisión literaria,» *Investigatio*, n° 18, 2022.
- [4] J. G. Bastidas, F. A. Reyes Lizcano y H. A. Rondón Quintana, «Use of recycled concrete aggregates in asphalt mixtures for pavements: A review,» *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 9, n° 5, pp. 725-741, 2022.
- [5] S. A. Alfayez, A. R. Suleiman y M. L. Nehdi, «Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: State of the Art,» *MDPI*, vol. 12, n° 21, 2020.
- [6] M. Bilema, C. Wah Yuen, M. Alharthai, Z. H. Al-Saffar, A. Al-Sabaei y N. I. Md Yusoff, «A Review of Rubberised Asphalt for Flexible Pavement Applications: Production, Content, Performance, Motivations and Future Directions,» *MDPI*, vol. 15, n° 19, p. 14481, 2023.
- [7] Z. M. Mascarenhas, Z. Piao, K. L. Vasconcelos, L. D. Paulikakos y L. L.B. Bernucci, «Comparative environmental performance of pavement structures considering recycled materials and regional differences,» *Science of The Total Environment*, vol. 858, n° 2, p. 159862, 2023.
- [8] M. Gaertner, J. Staub de Melo y J. Villena, «Los efectos de la forma de la onda de carga en la estimación de la vida a la fatiga de la capa asfáltica en la estructura del pavimento,» *SciELO*, vol. 34, n° 2, 2019.
- [9] L. M. Melo Sanchez, «Aplicación de la geomalla en pavimentos flexibles para su diseño en avenida Santa Rosa, San Juan de Lurigancho, 2021,» Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2021.
- [10] W. Zhao y Q. Yang, «Life cycle assessment and multi-index performance evaluation of semi-flexible pavement after composite modification by using fly ash, rubber particles, warm mixing asphalt and recycled asphalt pavement,» *Construction and Building Materials*, vol. 364, p. 129945, 2023.
- [11] S. S. Salazar Pucllas, «Incorporación de caucho reciclado en las mezclas asfálticas para mejorar pavimentos flexibles en la Ciudad de Lima, Perú 2019,» Universidad César Vallejo, Lima, 2019.
- [12] L. E. Arqueros Flores y S. Y. Zavaleta Benites, «Influencia del porcentaje de grano de caucho reciclado en el tiempo de vida útil de la mezcla asfáltica de pavimento flexible, Trujillo 2022,» Universidad Privada del Norte, Trujillo, 2022.
- [13] M. A. Cardoza Zambrano, K. V. Palomino Cadena y . G. Angulo Blaquissett, «Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad,» *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 2019.
- [14] A. T. Salcedo Palacios y D. R. Santi Morales, «Diseño de pavimento flexible con adición parcial de caucho reciclado en la avenida Pacasmayo, Lima, 2022,» Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2022.
- [15] S. A. Carrasco Herrera y K. J. Rosillo Vásquez, «Diseño de pavimento flexible con utilización de caucho reciclado en avenida Venezuela, cuerdas 26 - 59, distrito José Leonardo Ortiz, Lambayeque – 2021,» Universidad César Vallejo, Lambayeque, 2021.

- [16] J. M. Salazar Lluen, «Uso de caucho reciclado para mejorar las propiedades de carpeta asfáltica en carretera Monsefu-Valle Hermoso. Lambayeque 2021,» Universidad César Vallejo, Lambayeque, 2021.
- [17] R. De Punyaslok, J. E. Amor, W. G. Buttler y E. Reyes, «Performance Analysis of Asphalt Mixtures Modified with Ground Tire Rubber Modifiers and Recycled Materials,» *MDPI*, vol. 11, n° 6, p. 1792, 2019.
- [18] M. Yuetan, S. Wang, H. Zhou, W. Hu, P. Polaczyk y B. Huang, «Recycled polyethylene and crumb rubber composites modified asphalt with improved aging resistance and thermal stability,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 334, p. 130102, 2022.
- [19] R. Xuan Cang, V. Zhenyang, L. Li, R. Hongyao y M. Huang, «Durability Evaluation Study for Crumb Rubber–Asphalt Pavement,» *MDPI*, vol. 16, n° 9, p. 3434, 2019.
- [20] D. Rigotti y A. Dorigato, «Novel uses of recycled rubber in civil applications,» *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 5, n° 4, pp. 214-233, 2022.
- [21] A. Kumar Singh y J. Sahoo, «Rutting prediction models for flexible pavement structures: A review of historical and recent developments,» *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 8, n° 3, pp. 315-338, 2021.
- [22] V. Zuraulis, H. Sivilevicius, E. Sabanovic, V. Ivanov y V. Skrickij, «Variability of Gravel Pavement Roughness: An Analysis of the Impact on Vehicle Dynamic Response and Driving Comfort,» *MDPI*, vol. 11, n° 16, p. 7582, 2021.
- [23] V. Tur-Viñes, «Evaluación cuantitativa y/o cualitativa de la investigación. Marejada académica,» *Revista Mediterránea*, vol. 14, n° 1, 2023.
- [24] O. Jiménez Garza y L. Arroyo Rojas, «About complementing quantitative with qualitative research in primary care: Narrative of people does not show a «p» value,» *NIH*, vol. 54, n° 12, 2022.
- [25] F. Goicochea Fernandez, «Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas,» Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Amazonas, 2019.
- [26] Y. Vilca Matamoros y K. C. Arotoma Huacachoque, «Estudio del asfalto adicionando caucho de neumático reciclado y su comparación técnico-económico con el asfalto convencional en la provincia de Angaraes – Huancavelica,» Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, 2019.
- [27] L. Á. Espinoza López, «Incorporación de fibra de plástico en el pavimento flexible para mejorar su propiedad mecánico - físico en la Av. Huandoy, Olivos 2020,» Universidad César Vallejo, Lima, 2020.
- [28] W. M. Flores Contreras y C. Huaranca Quispe, «Mezcla asfáltica con polvo de caucho reciclado para rehabilitar el pavimento del Jr. San Salvador - Cusco 2020,» Universidad César Vallejo, Cusco, 2020.