



PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA

Propuesta de pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico

Autores:

Calderón Quezada, Heiner Manuel (<https://orcid.org/0009-0008-7774-4522>)
hcalderonqu@ucvvirtual.edu.pe, Ingeniería Civil, V ciclo

Chira López, Leonardo Mitsuo (<https://orcid.org/0009-0009-6651.5473>)
lchiralop@ucvvirtual.edu.pe, Ingeniería Civil, V ciclo

De La Cruz Salirrosas, Luana Valeria (<https://orcid.org/0009-0006-5117-6673>),
vcruzsal@ucvvirtual.edu.pe, Ingeniería Civil, V ciclo

Medina Malla, Yorwi Ronaldito (<https://orcid.org/0009-0003-4491-2394>)
yrmedinam@ucvvirtual.edu.pe, Ingeniería Civil, V ciclo

Ruiz Quezada, Eduar Jefferson (<https://orcid.org/0009-0008-0896-2753>)
eruizq@ucvvirtual.edu.pe, ingeniería Civil, V ciclo

Villanueva Bermudez, Ana Belen (<https://orcid.org/0009-0003-4030-2847>)
anavillabermb@ucvvitual.edu.pe, Ingeniería Civil, V ciclo

Asesor:

Mgtr. Cabanillas Chirino, Luis Alberto (<https://orcid.org/0000-0002-9664-0496>)

Trujillo - 2025

Generalidades

Nivel del trabajo de investigación formativa: II

Línea de investigación general Objetivo de Desarrollo Sostenible y Meta:
Construcción sostenible
Industria, innovación e infraestructura
Construir infraestructuras fiables y de calidad

Línea de responsabilidad social universitaria:
Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo determinar si un pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico puede sustituir al asfalto convencional, promoviendo infraestructuras sostenibles en línea con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura). El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo básico y diseño experimental de tipo cuasi experimental, comparando mezclas convencionales con las modificadas mediante ensayos físicos y mecánicos. La muestra consistió en residuos de caucho reciclado y concha de abanico, utilizando un muestreo no probabilístico por conveniencia, el instrumento empleado fueron anotaciones que se registraron en la bitácora de campo. Los resultados mostraron que las mezclas modificadas (M2 y M3) alcanzaron resistencias a la compresión comparables o superiores a la convencional, aunque con mayor absorción de agua, atribuida a la porosidad de los materiales reciclados. Aunque no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre la muestra convencional frente a las modificadas. Se concluyó que el uso de estos residuos urbanos no compromete las propiedades estructurales del asfalto, y representa una alternativa viable para reducir el impacto ambiental, optimizar recursos y fomentar prácticas constructivas sostenibles. Los resultados respaldan la viabilidad técnica del uso de estos materiales y justifican investigaciones futuras con muestras más amplias.

Palabras clave: Pavimentos, Reciclaje, Residuos sólidos, Infraestructura, Desarrollo sostenible

Abstract

This research aims to determine whether asphalt pavement improved with recycled rubber and scallop shell powder can replace conventional asphalt, promoting sustainable infrastructure in line with SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure). The study adopted a quantitative approach, basic in type and quasi-experimental in design, comparing conventional mixtures with modified ones through physical and mechanical tests. The sample consisted of recycled rubber and scallop shell waste, using non-probabilistic convenience sampling. The data collection instrument was a field logbook with recorded observations. The results showed that the modified mixtures (M2 and M3) achieved compressive strengths comparable to or higher than the conventional mixture, although with greater water absorption, attributed to the porosity of the recycled materials. Although no statistically significant differences were found between the conventional and modified samples, it was concluded that the use of these urban wastes does not compromise the structural properties of the asphalt and represents a viable alternative to reduce environmental impact, optimize resources, and promote sustainable construction practices. The results support the technical feasibility of using these materials and justify future research with larger samples.

Keywords: Pavements, Recycling, Solid wastes, Infrastructure, Sustainable development

Índice

Índice de contenidos

I. Introducción.....	1
II. Metodología.....	6
III. Resultados y discusiones.....	9
IV. Conclusiones.....	16
V. Recomendaciones.....	17
Referencias.....	18
Anexos.....	24

Índice de tablas

Tabla 1: Dosificación de mezcla por muestra.....	10
Tabla 2: Análisis físico mecánico de las mezclas asfálticas.....	12
Tabla 3: Prueba de ANOVA y prueba Post-Hoc de Games- Howell.....	13
Tabla 4: Operacionalización de variables.....	24
Tabla 5: Análisis granulométrico de grava.....	35
Tabla 6: Análisis granulométrico de caucho.....	36
Tabla 7: Análisis granulométrico de arena.....	37
Tabla 8: Análisis granulométrico de polvo de concha de abanico.....	38
Tabla 9: Análisis de absorción y resistencia a la compresión.....	47
Tabla 10: Prueba de normalidad - Prueba de Shapiro-Wilk.....	48
Tabla 11: Prueba de ANOVA - Absorción.....	49
Tabla 12: Prueba Post- Hoc de Games- Howell para el porcentaje de absorción....	49
Tabla 13: ANOVA de Un Factor - Resistencia.....	50
Tabla 14: Prueba Post- Hoc de Games- Howell.....	50

I. Introducción

La infraestructura vial urbana se ve afectada por el crecimiento acelerado del tránsito vehicular y las condiciones ambientales exigentes, lo que genera deformaciones, fisuras, pérdida de capacidad estructural y aumento de accidentes, además de elevar los costos de mantenimiento. Como menciona Li, et al. (2022) la combinación de factores ambientales cambiantes y el aumento progresivo del tráfico ha generado una serie de daños en el pavimento de hormigón asfáltico, como grietas, surcos, picaduras y aflojamiento. La incorporación de modificadores al asfalto se ha consolidado como una estrategia clave para mejorar la durabilidad y el rendimiento de las carreteras. En este contexto, resulta fundamental desarrollar y emplear nuevos materiales que no solo mejoren estas infraestructuras, sino que también promuevan su sostenibilidad y resiliencia. Así, se fomenta la innovación y el uso de materiales reciclados, en línea con los objetivos de crear infraestructuras más responsables con el medio ambiente, tal como plantea el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9.

Cada año alrededor de un billón de llantas de automóvil son desechadas en el mundo. Lo que señala el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente es alarmante, cuando grandes cantidades de residuos urbanos e industriales terminan abandonadas o quemadas al aire libre, los efectos negativos pueden ser devastadores. La contaminación afecta tanto el aire y el agua que consumimos, también los ecosistemas que sustentan la vida. Además, la exposición prolongada a estos contaminantes puede tener graves repercusiones en la salud pública, generando enfermedades respiratorias y de una manera afectando a las personas. Por ello, es de importancia la gestión adecuada de los residuos ya que es esencial para evitar estos daños y resguardar la salud de los habitantes y de la naturaleza (United Nations, 2021).

El aumento significativo de residuos de conchas marinas representa un desafío ambiental considerable para las ciudades costeras chinas. Una solución viable y prometedora radica en el reciclaje de estas conchas como componentes aglomerantes y agregados en la producción de mortero y hormigón. Diversas instituciones chinas han llevado a cabo extensas investigaciones sobre el desempeño de estos materiales de construcción elaborados con conchas marinas,

generando una considerable cantidad de datos. Sin embargo, la falta de una revisión completa y sistemática que integre estos hallazgos publicados dificulta la adopción generalizada y la aplicación práctica de este tipo de mortero y hormigón en proyectos de ingeniería, representando una barrera para el aprovechamiento sostenible de este recurso (Deng et al., 2025). A pesar del éxito de países como China en la producción de ostras, el manejo de las conchas, una vez desechada la parte comestible, es ineficiente. Gran parte de estos residuos terminan en vertederos, terrenos abandonados y playas, generando un problema ambiental significativo (Hu et al., 2023). Por lo tanto, la búsqueda de soluciones para minimizar el impacto de estos desechos y optimizar su aprovechamiento se ha convertido en una prioridad urgente.

Las causas del mal estado del asfalto se deben a la exposición climática, el tráfico intenso y el envejecimiento del material, lo que evidencia las limitaciones de los materiales tradicionales. A ello se suma la escasez de recursos sostenibles y el alto costo de los agregados, que elevan los gastos de mantenimiento (Münkel et al., 2021). Además las consecuencias son graves, ya que el mal estado del asfalto afecta directamente la seguridad vial, el costo de mantenimiento y la vida útil de las vías. Según Zhang et al. (2025), el agrietamiento a baja temperatura y la formación de surcos a alta temperatura indican una degradación de las propiedades del asfalto, lo que compromete su adherencia y viscoelasticidad. Esto disminuye su capacidad para soportar el tráfico y las variaciones climáticas, incrementando el riesgo de accidentes y elevando los costos de reparación de las vías.

El asfalto convencional es un material de construcción utilizado para pavimentar carreteras y otras superficies. Se compone de agregados minerales, como arena y grava, y un aglutinante bituminoso. El aglutinante bituminoso es un material viscoso y pegajoso que une los agregados y proporciona al asfalto sus propiedades de resistencia y durabilidad (Staub de Melo et al., 2025).

Albayati y Albayati (2025), en Irak, evaluaron mezclas asfálticas con polvo de lignina sódica, encontrando mejoras en la rigidez, resistencia a la humedad y tolerancia al agrietamiento. Por su parte, Dehnad, Yazdi y Hamedi (2025), en Irán, estudiaron el betún modificado con fibra de vidrio, concluyendo que este aditivo incrementa la adhesión, cohesión y vida útil frente a la fatiga. De manera similar, Posso et al. (2024) analizaron en Boyacá, Colombia, el uso de gránulos de caucho

reciclado en vías terciarias, observando mejoras en la durabilidad, estabilidad del pavimento y reducción de costos. Asimismo, Chen et al. (2024), en China, utilizaron polvo de conchas marinas como biomasa renovable para modificar asfaltos, logrando mayor resistencia al envejecimiento y contribución al almacenamiento de CO₂. Zhang et al. (2022), también en China, evaluaron el uso de polvo y celulosa de paja de algodón, identificando mejoras en la tenacidad, estabilidad térmica y reología del asfalto, especialmente con celulosa al 1 %. Finalmente, Rojas et al. (2021), en Costa Rica, incorporaron orujo de uva roja en asfaltos y hallaron que el 3 % del aditivo reduce significativamente la oxidación, especialmente en condiciones de envejecimiento natural. En conjunto, estos estudios coinciden en que el uso de aditivos naturales o reciclados permite mejorar las propiedades mecánicas, térmicas y ambientales de los materiales asfálticos, lo cual se vincula directamente con los objetivos de la presente investigación, que busca desarrollar una propuesta de pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico. Los hallazgos revisados respaldan la viabilidad técnica y ecológica de incorporar residuos en la infraestructura vial, aportando soluciones sostenibles, de bajo carbono y alto rendimiento.

Como antecedentes nacionales, se tiene a Quispe Torres (2022), en su investigación en Lima-Perú, analizó el efecto del polímero SBS en el desempeño mecánico de mezclas asfálticas mediante ensayos Marshall, TSR, fatiga y ahuellamiento. Se determinó que una proporción específica de polímero SBS y cemento asfáltico mejora significativamente la resistencia a la fatiga y la deformación permanente. Simultáneamente, Bravo (2021), en la Universidad Ricardo Palma (Perú), investigó el reemplazo de la fibra de celulosa y la cal hidratada en mezclas SMA con fibra y ceniza de bagazo de caña de azúcar. Si bien la fibra mostró resultados prometedores, la ceniza no cumplió con las propiedades del filler tradicional. Ambos estudios, aunque con enfoques diferentes, contribuyen a la comprensión de la optimización de las mezclas asfálticas.

En base a lo mencionado, surge como interrogante saber si el pavimento asfáltico mejorado a base de caucho reciclado y el polvo de concha de abanico es un producto que puede sustituir al asfalto común.

Es por ello, que planteamos el objetivo general donde se busca determinar si el pavimento mejorado a base de caucho reciclado y polvo de concha de abanico

puede sustituir al asfalto común, para crear infraestructuras más sostenibles y resilientes, fomentando la innovación y la utilización de materiales reciclados. Para lograr esto, i) se requiere elaborar una mezcla asfáltica que contenga caucho reciclado y el polvo de concha de abanico; ii) realizar el análisis físico mecánico de la mezcla asfáltica que contiene caucho reciclado y el polvo de concha de abanico; y iii) realizar el análisis estadístico para conocer si hay diferencia significativa entre los valores del análisis físico mecánico de la mezcla asfáltica mejorada en comparación con la mezcla asfáltica común.

Por lo tanto, es de crucial importancia el presente trabajo con la adición del caucho a la mezcla asfáltica ya que servirá para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del asfalto, como resistencia a la tracción indirecta, a la formación de surcos y al envejecimiento, aumenta la vida útil de la mezcla a la fatiga y disminuye el ruido (Muñoz, S. et al. 2021). La trascendencia del uso de residuos en asfalto para la sociedad radica en su contribución directa a la sostenibilidad ambiental y al manejo responsable de los recursos. Se da solución a un problema ambiental significativo, al tiempo que se reduce la necesidad de extraer materiales vírgenes y se minimiza la contaminación. Esta práctica promueve el desarrollo de una industria de la construcción más ecológica, eficiente e innovadora, marcando un compromiso nacional hacia la sostenibilidad y motivando nuevas investigaciones y políticas enfocadas en el aprovechamiento de residuos en obras de infraestructura (Figueroa & Fonseca, 2020).

La utilización de caucho granulado en mezclas asfálticas contribuye a resolver problemas reales como el reciclaje de neumáticos y la mejora de la durabilidad del pavimento. Sin embargo, para optimizar sus beneficios, es necesario ajustar las proporciones, ya que, aunque las mezclas con alto contenido de caucho granulado muestran un excelente rendimiento vial, presentan desafíos como alta viscosidad, baja trabajabilidad y rendimiento térmico limitado (Duan et al., 2022). En cuanto a la mejora de la calidad de vida, especialmente en regiones frías, el asfalto convencional experimenta deterioro prematuro y grietas debido a las bajas temperaturas y ciclos de congelamiento-deshielo. La modificación del asfalto con aditivos o polímeros mejora sus propiedades mecánicas (flexibilidad, durabilidad y resistencia), lo que no sólo mitiga estos problemas, sino que también contribuye a la construcción de pavimentos más sostenibles y duraderos, mejorando así la calidad

de vida de las personas y sus entornos (Fu et al., 2025).

La teoría de la variable independiente en este estudio se basa en la incorporación de materiales reciclados en mezclas asfálticas, específicamente caucho granulado (CR) y conchas de mar trituradas. El CR, derivado de neumáticos desechados, mejora la resistencia, fatiga y estabilidad del asfalto, aunque enfrenta desafíos como alta viscosidad y baja estabilidad de almacenamiento, los cuales pueden optimizarse con peróxido de hidrógeno (Liu et al., 2021). Por su parte, las conchas de mar, ricas en carbonato de calcio, pueden sustituir materiales tradicionales, aumentando la resistencia, adherencia y plasticidad de la mezcla (Caroscio et al., 2024). Y como variable dependiente se tiene la teoría del asfalto, donde Xie et al., (2025), el asfalto modificado es un tipo de asfalto que se ha mejorado con la adición de otros materiales, como caucho reciclado, para mejorar sus propiedades. El asfalto modificado con caucho reciclado ha demostrado ser una alternativa sostenible y eficaz para mejorar las propiedades del pavimento, como la resistencia al desgaste, la durabilidad y la resistencia al agrietamiento.

En este marco, se plantea la siguiente hipótesis: El uso de caucho reciclado y polvo de concha de abanico en la mezcla asfáltica mejora significativamente el desempeño físico-mecánico del pavimento, en comparación con el asfalto convencional, contribuyendo además a la sostenibilidad ambiental y a la reducción de costos en mantenimiento vial.

II. Metodología

La presente investigación es de tipo básica conforme al Manual de Oslo de la OCDE (2018), se buscó generar conocimiento teórico y explicativo que permita entender las mejoras del asfalto, mediante materiales reciclados, como el caucho picado y las conchas de abanico, según Castro et al. (2023), su finalidad es ampliar el saber científico existente, motivado por el interés de comprender mejor el entorno. Además presentó un enfoque de diseño cuantitativo, como señala De Jesús (2024), este se basa en la recolección y el análisis de datos numéricos con el propósito de verificar hipótesis previamente planteadas. El diseño de investigación es experimental, de tipo cuasi experimental ya que se buscó determinar la influencia del caucho reciclado y la concha de abanico en el asfalto, teniendo en cuenta el grupo de control el asfalto convencional y el grupo experimental el asfalto modificado con los residuos reciclados. Finalmente, el alcance de investigación del presente estudio fue explicativo, porque se enfocó en analizar el uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades del asfalto.

La variable independiente "residuos urbanos" abarca el caucho reciclado, obtenido mediante la trituración de llantas usadas (Ji et al., 2024), y la concha de abanico, un subproducto marino compuesto mayormente de carbonato de calcio (De La Cruz Vega et al., 2022), cuya incorporación en mezclas asfálticas ha mejorado su comportamiento estructural, resistencia a la deformación permanente y desempeño frente a variaciones térmicas (Zhang et al., 2024), dividiéndose en dos dimensiones: la dosificación, con porcentajes menores al 15%, y la granulometría, donde el caucho reciclado debe pasar por mallas entre N° 60 y N° 4, mientras que las conchas de abanico por la malla N° 200; por otro lado, la variable dependiente "ASFALTO", según Muñoz, Morante y Huamán (2023), es un aglutinante bituminoso compuesto por asfaltenos y maleatos, de textura viscosa, color oscuro y comportamiento termoplástico, que se divide en convencional, derivado de la destilación del petróleo crudo con propiedades viscoelásticas, y modificado, cuya composición ha sido mejorada con aditivos como nanomateriales para optimizar sus características (El-Maaty et al., 2020; Bobadilla Peña et al., 2022), identificándose dos dimensiones clave: la absorción de agua, que representa el proceso de infiltración con un intervalo de 0% a 2% (ASTM D2726), y la resistencia a la

compresión, que mide la carga máxima antes de fallas estructurales, con un rango entre 900 kg y 4000 kg (NTP 321.11).

La población de estudio estuvo conformada por residuos urbanos de caucho reciclado y concha de abanico en Trujillo, que se generan en las canchas deportivas y restaurantes de comida marina. Como criterio de inclusión son los residuos generados en Trujillo, donados, obtenidos en las canchas deportivas y restaurantes de comida marina. Y como criterio de exclusión, son los residuos generados externos a Trujillo, vendidos y obtenidos en espacios no relacionados a las canchas deportivas y restaurantes de comida marina. La muestra estuvo constituida por 2 kilogramos de caucho y un kilogramo de concha de abanico, se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando los materiales que se encontraban en el contexto local y de fácil obtención. El residuo de caucho se recolectó del establecimiento deportivo “Peloteros” y la concha de abanico se recolectó del restaurante “Delicia marina” del distrito de Víctor Larco, en mayo de 2025.

En este trabajo, se empleó la técnica “bitácora de campo” en la recolección de los datos, mediante el uso de anotaciones que se registraron en la ficha de campo “ELABORACIÓN DE BRIQUETAS MARSHALL USANDO CAUCHO RECICLADO (CR) Y CONCA DE ABANICO (CA)”. Esta técnica permitió recolectar datos objetivos y cuantificables durante la ejecución de los ensayos de laboratorio. La ficha de campo estaba dirigida a registrar los resultados a la resistencia a la compresión (según la norma MTC E-504) y del análisis granulométrico de los agregados (según MTC E-202 y MTC E-205). Además, se realizó el cálculo del porcentaje de absorción de agua que es un parámetro clave en la ingeniería vial, ya que influye directamente en la durabilidad y el desempeño del pavimento asfáltico (ASTM D2726). Este instrumento fue validado por tres especialistas con experiencia y/o conocimiento en ensayos de materiales en laboratorio. (Ver anexo 3).

Para el análisis de los datos obtenidos de las propiedades del pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico, se empleó un análisis descriptivo mediante el software Microsoft Excel. Este consistirá en el cálculo de medidas de tendencia central como el promedio, y de dispersión como la desviación estándar. Estas medidas permitirán describir la distribución de los datos, identificar la variabilidad entre las muestras y determinar la representatividad de los

resultados obtenidos. Además para el desarrollo del análisis inferencial de los datos se utilizó el software IBM SPSS Statistics, para realizar el análisis estadístico de los datos en base a las hipótesis planteadas.

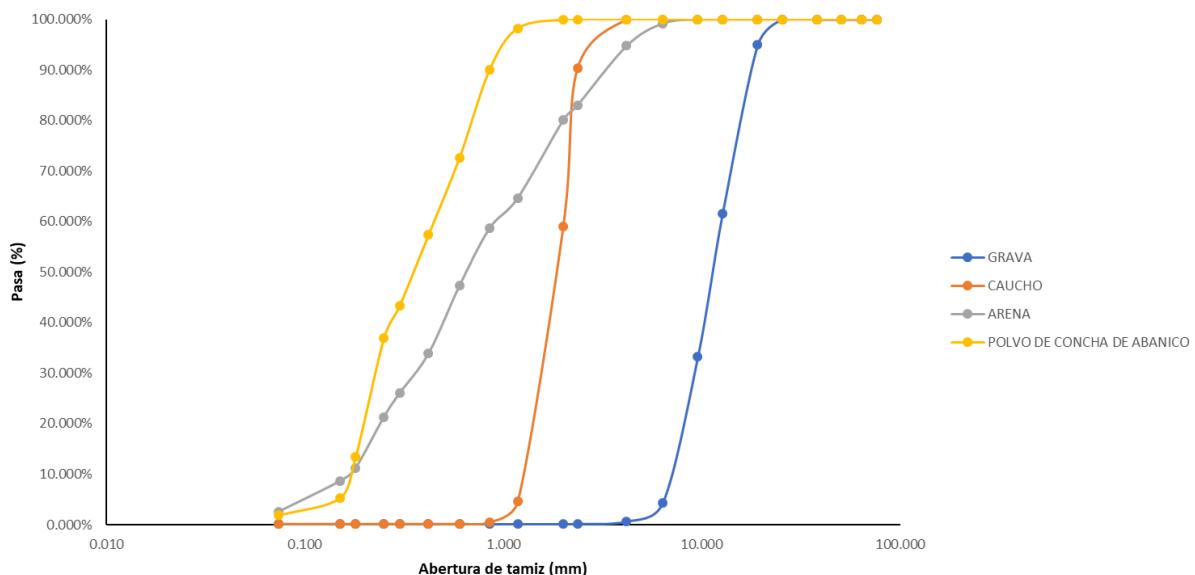
La presente investigación se desarrolló en estricto cumplimiento con los principios de integridad científica establecidos por la Universidad César Vallejo (UCV), garantizando la honestidad, transparencia, respeto y responsabilidad en todas las etapas del estudio. Se procuró en todo momento evitar cualquier forma de sesgo, manipulación de datos o conflicto de intereses. Así mismo, se solicitó y obtuvo la autorización formal por parte de la institución colaboradora para la realización de la investigación dentro de sus espacios y con su personal o usuarios, de ser el caso. Todos los procedimientos se ejecutaron en observancia de los lineamientos establecidos en el Código de Ética de la Universidad César Vallejo aprobados en la Resolución de Consejo Universitario N° 0470-2022/UCV. Los documentos que respaldan estos procesos, como la carta de autorización institucional se mencionan en el (Anexo 04).

III. Resultados y discusiones

Con el fin de lograr el primer objetivo específico de elaborar una mezcla asfáltica que contenga caucho reciclado y polvo de concha de abanico, se realizó un análisis granulométrico de los materiales que conformaron las mezclas asfálticas, a saber: grava, arena, caucho reciclado y polvo de concha de abanico. Los resultados se muestra a continuación:

Figura 1

Análisis granulométrico de los agregados.



Interpretación:

El gráfico ilustra el análisis granulométrico de grava, caucho, arena y polvo de concha de abanico, mostrando la distribución porcentual de partículas según el tamaño del tamiz. La grava exhibe una distribución estrecha con predominancia de partículas gruesas, mientras que el polvo de concha de abanico presenta una distribución amplia con alta proporción de finos. La arena y el caucho muestran distribuciones intermedias, con el caucho presentando una mayor cantidad de partículas finas que la arena, estas diferencias impactan en la modificación de la mezcla asfáltica.

Posteriormente, se procedió con la dosificación de cuatro tipos de mezclas: una

mezcla convencional (M0) y tres mezclas modificadas (M1, M2 y M3), que variaron en el contenido de caucho reciclado y polvo de concha de abanico. La siguiente tabla presenta la proporción de cada componente utilizado en las diferentes mezclas.

Tabla 1

Dosificación de mezcla por muestra

AGREGADOS	CONVENCIONAL (M0)		M1		M2		M3	
	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr
GRAVA	30%	360	30%	360	30%	360	30%	360
ARENA	59%	708	58%	696	47%	564	41%	492
CAUCHO RECICLADO	--	--	4%	48	8%	96	12%	144
FILLER (CEMENTO)	5%	60	-	-	5%	60	5%	60
FILLER (CONCHA DE ABANICO)	--	--	2%	24	4%	48	6%	72
LÍQUIDO ASFÁLTICO	6%	72	6%	72	6%	72	6%	72
TOTAL	100%	1200	100%	1200	100%	1200	100%	1200

Interpretación:

Se observa una variación en la proporción de arena entre la muestra convencional y las experimentales, con una disminución notable en M2. La inclusión del caucho reciclado y el polvo de concha de abanico se presenta en las muestras M1, M2 y M3, con distintas concentraciones. Esta variación en las proporciones permite evaluar el impacto de la adición de estos materiales en las propiedades de la mezcla asfáltica.

Como primer objetivo específico, el elaborar una mezcla asfáltica a base de caucho reciclado y polvo de concha de abanico. En esta línea, se formula tres mezclas modificadas (M1, M2 y M3) con variaciones en el contenido de caucho reciclado (4 %, 8 %, 12 %) y polvo de concha de abanico (2 %, 4 %, 6 %), para la formulación de una briqueta de 1200 gr de peso, basada en la norma peruana NTP 400.037. Esta propuesta es similar a la investigación de Posso et al. (2024), que coincide en el peso de dosificación por cada briqueta de 1200 gr, pero busca agregar el caucho reciclado reemplazando por un porcentaje del asfalto (20%, 15%, 10%), debido a que utiliza la norma de ensayo Colombiana INV E-748-13 método

Marshall. Los resultados confirman que es posible elaborar mezclas estables y técnicamente viables con ambos materiales, sin observar problemas en el diseño de la dosificación. Este cumplimiento sugiere que el uso combinado de caucho reciclado y polvo de concha puede ser una estrategia sostenible para el desarrollo de infraestructuras viales, aprovechando residuos que usualmente no tienen una disposición técnica adecuada. La calidad granulométrica obtenida también permite prever que estas mezclas podrían comportarse de forma eficiente ante cargas vehiculares moderadas.

Para abordar el segundo objetivo específico, realizar el análisis físico mecánico de la mezcla asfáltica que contiene caucho reciclado y el polvo de concha de abanico. Se realizaron ensayos de absorción de agua y carga de compresión en muestras representativas de las mezclas convencionales y modificadas. Estos ensayos permitieron identificar el comportamiento de cada mezcla frente a la humedad y la resistencia a la carga, lo cual es crucial para determinar la viabilidad del uso de estos aditivos reciclados en aplicaciones viales.

Tabla 2

Análisis físico mecánico de las mezclas asfálticas

MUESTRAS	TIPO	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)	PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Kg/cm ²)
CONVENCIONAL	M0-A	0,11			37,99		
	M0-B	0,14	0,12	0,0173	26,24	30,33	6.64
	M0-C	0,11			26,76		
MODIFICADO 1	M1-A	0,62			26,79		
	M1-B	0,75	0,86	0,3100	24,57	24,39	2.48
	M1-D	1,21			21,83		
MODIFICADO 2	M2-A	0,86			36,30		
	M2-B	0,40	0,95	0,5950	37,53	35,56	2.43
	M2-C	1,58			32,84		
MODIFICADO 3	M3-A	0,34			36,41		
	M3-B	0,69	0,65	0,2970	38,06	36,36	1.73
	M3-C	0,93			34,61		

Interpretación:

Los resultados mostraron que la mezcla convencional (M0) presentó los valores más bajos de absorción de agua, mientras que las mezclas modificadas exhibieron mayores niveles de absorción, lo cual podría estar relacionado con la porosidad del caucho y del polvo de concha. En cuanto a la resistencia a la compresión, las mezclas M2 y M3 mostraron cargas comparables o incluso superiores a la convencional, destacando especialmente M3 por su alto desempeño. Estos resultados evidenciaron que la incorporación de materiales reciclados no comprometió la resistencia mecánica de las mezclas, y en algunos casos, incluso la mejoró.

El segundo objetivo específico consiste en realizar el análisis físico-mecánico de la mezcla asfáltica que contiene caucho reciclado y polvo de concha de abanico. En los resultados se observa que las mezclas modificadas M2 y M3 presentan una resistencia a la compresión comparable e incluso superior a la mezcla convencional. No obstante, también se evidencia un mayor porcentaje de absorción de agua en estas mezclas, lo cual se atribuye a la porosidad inherente del caucho reciclado y del polvo de concha de abanico incorporados en la mezcla. Estos resultados son comparables a los de Albayati y Albayati (2025), quienes reportan que la incorporación de polvo de lignina sódica (SLP) aumenta la resistencia a la deformación permanente y mejora la resistencia a la humedad o al agua de las muestras. Esto posiblemente se debe al mismo número de golpes de compactación aplicados (75 golpes) y a un diseño de mezcla similar. Esta coincidencia podría explicarse por las condiciones experimentales similares, como el número de golpes de compactación (75 golpes) y la metodología empleada en el diseño de mezcla, lo cual sugiere que la combinación adecuada de materiales reciclados y el control del proceso constructivo pueden influir positivamente en el desempeño físico-mecánico. En síntesis, el comportamiento observado valida la factibilidad técnica del uso de estos residuos en el diseño de mezclas asfálticas urbanas.

Finalmente, para alcanzar el tercer objetivo, realizar el análisis estadístico para conocer si hay diferencia significativa entre los valores del análisis físico mecánico de la mezcla asfáltica mejorada en comparación con la mezcla asfáltica común. Se llevó a cabo la prueba de normalidad de los datos físico-mecánicos de

las muestras, con el propósito de evaluar la distribución y garantizar la validez del análisis estadístico, siendo nuestra muestra menor a 50 ($n < 50$), por lo tanto se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk (ver anexo 19). Luego se aplicó la prueba estadística Anova de un factor, para encontrar si hay diferencias significativas entre los valores del ensayo físico y mecánico (ver anexos 20 y 21). Y a fin de responder específicamente al objetivo planteado, donde se utilizó la prueba Post-Hoc de Games- Howell. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3

Prueba de ANOVA y prueba Post-Hoc de Games- Howell

Análisis	F	gl1	gl2	Valor p (ANOVA)	Comparación	Valor p (Post-Hoc Games-Howell)
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	12.96	3	4.25	0,013	Convencional vs Modificada 1	0,564
					Convencional vs Modificada 2	0,637
					Convencional vs Modificada 3	0,544
Absorción (%)	7.71	3	3.35	0,053	Convencional vs Modificada 1	0,130
					Convencional vs Modificada 2	0,315
					Convencional vs Modificada 3	0,211

Interpretación:

En la tabla 3 se observa p-values mayores a 0.05 en la prueba de comparación de muestras de Post-Hoc, tanto física como mecánica, se puede afirmar estadísticamente que no existen diferencias significativas entre el porcentaje de absorción de agua y de resistencia a la compresión de la muestra convencional, frente a las muestras modificadas con caucho reciclado y concha de abanico.

Se plantea como tercer objetivo específico realizar el análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre las propiedades físico-mecánicas de las mezclas modificadas y la mezcla convencional. Para ello, se

aplica la prueba estadística ANOVA a las muestras obtenidas durante el proceso experimental. En la presente investigación se observa que los valores obtenidos superan el umbral de significancia estadística, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las mezclas de asfalto convencional y las mezclas modificadas. Esto sugiere que, bajo las condiciones del experimento, el uso de caucho reciclado y polvo de concha de abanico no afecta negativamente las propiedades físico-mecánicas evaluadas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Ccora (2021), quien al comparar mezclas formuladas con el mismo peso de briqueta pero con distintos aditivos, tampoco encuentra diferencias significativas en propiedades como la estabilidad de flujo, el índice de rigidez y el porcentaje de vacíos. Esta similitud puede deberse a que, en ambos estudios, el control del peso y del diseño de mezcla contribuye a resultados homogéneos. Sin embargo, se identifican tendencias favorables en la mezcla M3, la cual muestra un desempeño técnico alentador en cuanto a resistencia mecánica. La falta de significancia estadística puede explicarse por el tamaño reducido de la muestra experimental, lo que limita la potencia estadística y dificulta detectar efectos reales. A pesar de esta limitación, los resultados empíricos respaldan parcialmente la hipótesis y abren la posibilidad de continuar la investigación con un diseño más amplio y robusto, que permita validar de forma concluyente los beneficios del uso de materiales reciclados en pavimentos urbanos.

IV. Conclusiones

A partir del objetivo general, el uso de caucho reciclado y polvo de concha de abanico representó una opción técnicamente viable frente al asfalto convencional. Las mezclas modificadas mostraron un comportamiento físico y mecánico comparable, especialmente en la resistencia a la compresión. Esta propuesta permitió incorporar residuos urbanos al diseño de pavimentos, promoviendo soluciones más sostenibles. Además, se identificó su potencial para disminuir el impacto ambiental y fomentar prácticas responsables en la infraestructura vial.

Respecto al primer objetivo específico, se concluyó que las mezclas formuladas con materiales reciclados cumplieron con los parámetros granulométricos establecidos por la normativa técnica. Las briquetas obtenidas resultaron estables y técnicamente consistentes, lo que confirmó la posibilidad de emplear residuos como componentes funcionales en la mezcla asfáltica. Este resultado aportó evidencia favorable sobre la viabilidad de integrar residuos sólidos urbanos en el diseño de pavimentos sostenibles.

En relación con el segundo objetivo específico, se observó que las M2 y M3 alcanzaron resistencias a la compresión iguales o superiores a la mezcla convencional. No obstante, también presentaron mayores niveles de absorción de agua, debido a la porosidad de los materiales reciclados. A pesar de ello, la incorporación de dichos residuos no comprometió la integridad del pavimento. El comportamiento obtenido sugirió que un ajuste en la dosificación podría mejorar aún más su rendimiento.

En cuanto al tercer objetivo específico, se determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las mezclas convencionales y modificadas en cuanto a resistencia a la compresión y absorción de agua. Sin embargo, se identificó una tendencia positiva en la mezcla M3, la cual mostró un desempeño técnico alentador. La ausencia de significancia estadística se explicó, posiblemente, por el tamaño reducido de la muestra experimental. A partir de estos resultados, se justificó la necesidad de continuar la investigación con un diseño más amplio y estadísticamente robusto.

V. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios adicionales con muestras experimentales de mayor tamaño para aumentar la potencia estadística y así validar con mayor certeza las diferencias observadas entre las mezclas analizadas. Esto permitirá una mejor generalización de los resultados.

Desde una perspectiva metodológica, se sugiere explorar otras combinaciones de dosificación, especialmente proporciones intermedias de caucho y polvo de concha, con el fin de optimizar la resistencia mecánica y minimizar la absorción de agua, mejorando así el comportamiento integral de la mezcla.

Se recomienda aplicar esta metodología experimental en diferentes contextos climáticos y tipos de tráfico, lo cual permitirá evaluar la adaptabilidad y desempeño del pavimento en condiciones reales, contribuyendo a su validación técnica y económica.

Finalmente, se recomienda que los futuros estudios incorporen variables adicionales como estabilidad Marshall, comportamiento a la fatiga y envejecimiento, para obtener una caracterización más completa del rendimiento de las mezclas modificadas y fortalecer su aplicabilidad normativa.

Referencias

- Albayati, A. K., & Albayati, A. H. (2025). Lignina sódica como modificador sostenible para mezclas asfálticas: Caracterización y evaluación de desempeño. *Ingeniería de Transporte*, 19, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100300>
- ASTM International. (2022). *ASTM D6927-22: Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures.* <https://doi.org/10.1520/D6927-22>
- Avendaño, Y. A. (2020). *Evaluación técnica de un pavimento utilizando una mezcla con asfalto modificado con grano de caucho* [Tesis de posgrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <http://hdl.handle.net/10654/37694>
- Bravo, M. G. (2021). Mezcla asfáltica SMA, fibra, ceniza del bagazo de caña de azúcar y su desempeño mecánico. [Tesis de posgrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP. <https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/2342d39c-aa55-474c-9d9b-a1460bf3f616>
- Bobadilla Peña, J. R., Tesen Muñoz, F. L., Tigre Acosta, J. J., & Muñoz Pérez, S. P. (2022). Use of polymers in asphalt: a review. *Gaceta Técnica*, 23(1), 94-109. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231>.
- Caroscio, L., De Pascale, B., Tataranni, P., Chiavetta, C., Lantieri, C., & Bonoli, A. (2024). Preliminary study on the application of waste bivalve shells as biofiller for the production of asphalt concrete. *Cleaner Engineering and Technology*, 20(100743), 100743. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100743>

Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75).

<https://doi.org/10.14483/22487638.19171>

Chen, S., Wang, Y., He, X., Su, Y., Cao, Y., Yang, C., & Duan, X. (2024). Mechanically activated shell powder modified asphalt and its aging resistance enhancement. *Case Studies in Construction Materials*, 21(e04023), e04023.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04023>

Ccora, T. (2021). Diseño de Asfalto Modificado con Polímeros SBS para Mejoramiento Vial en la Ciudad de Huancayo [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/2668>

Dehnad, M. H., Yazdi, A., & Hamed, G. H. (2025). Investigación del efecto de la fibra cerámica en las propiedades mecánicas del asfalto vítreo. *Scientific Reports*, 15, 2296. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85970-8>

De Jesús, C. (2024). *La Investigación Cuantitativa*. Corporación Universitaria de Asturias.

https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/investigacion_cuantitativa/unidad1_pdf1.pdf

De la Cruz Vega, S. A., La Borda Dueñas Tovar, L. A., Flores, C. M. M., & Oyola, J. A. G. (2022). RESISTENCIA a COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO CON YESO y RESIDUOS DE CONCHAS DE ABANICO. *Revista Boliviana de Química*, 39(1). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.1.1>

Deng, Z., Lin, J., & Li, N. (2025). A review on recycling seashells as aggregates and

binders for mortar and concrete in China: Production, engineering properties and new applications. *Sustainable Materials and Technologies*, 43(e01242), e01242. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2025.e01242>

Duan, K., Wang, C., Liu, J., Song, L., Chen, Q., & Chen, Y. (2022). Research progress and performance evaluation of crumb-rubber-modified asphalts and their mixtures. *Construction and Building Materials*, 361(129687), 129687. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129687>

El-Matty, AEA, Ouf, ME y Shahrah, S. (2020). Efecto del aditivo polimérico en mezclas asfálticas modificadas con nanomateriales. *Revista de Investigación e Informes de Ingeniería*, 11 (3), 20-29. <https://doi.org/10.9734/jerr/2020/v11i3>

Figueroa Infante, A. S., & Fonseca Santanilla, E. (2020). Desempeño del pavimento con mezcla reciclada-RAP y grano de caucho reciclado-GCR. *Infraestructura vial*, 22(39), 20–28. <https://doi.org/10.15517/iv.v22i39.41205>

Fu, Z. et al (2025). Investigation on the low temperature rheological properties of polymer modified asphalt. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.02.010>.

Hu, C., Zhong, D., & Li, S. (2023). A study on effect of oyster shell powder on mechanical properties of asphalt and multiple degrees of modification mechanism. *Case Studies in Construction Materials*, 18(e01786), e01786. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01786>

Ji, Y., Qasem, M. G. S., Xu, T., & Mohammed, A. O. Y. (2024). Mechanical properties investigation on recycled rubber desert sand concrete. *Journal of CO2 Utilization*, 88(102939), 102939. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2024.102939>

Julio Bogarin, A. C. y Goiriz Meaurio, L. A. (2022). Diseño de mezcla asfáltica en caliente por el método marshall analizando la densificación de la mezcla y su evaluación a la deformación permanente (Doctoral Dissertation, Fcyt Unca).

<https://publicaciones.fctunca.edu.py/items/4240b079-1ea0-40a0-87cd-b536c8b39d91>

Li, Z., Guo, T., Chen, Y., Liu, J., Ma, J., Wang, J., & Jin, L. (2022). Study on pavement performance of cotton straw cellulose modified asphalt. *Materials Research Express*, 9(2), 025508. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac5277>

Liu, J., Hao, P., Dou, Z., Wang, J., & Ma, L. (2021). Rheological, healing and microstructural properties of unmodified and crumb rubber modified asphalt incorporated with graphene/carbon black composite. *Construction and Building Materials*, 305(124512), 124512. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124512>

Münkel Jiménez, M., Aguiar Moya, J. P., Baldi, A., Hernández Montero, N., & Villegas Villegas, R. E. (2021). Efecto de polímeros y aceite de cocina en el rango de desempeño del asfalto. *Infraestructura Vial*, 23(42), 71–81. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i42.47587>

Muñoz Perez, S. P., Hoyos Diaz, L. M., & Puicon Herrera, K. D. C. (2021). Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 23(41), 11–19. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i41.44410>

Muñoz Pérez, S. P., Morante-Santamaría, M. M. ., & Huamán-Manayay, H. F. . (2023). Revisión sistemática del comportamiento convencional y reológico del biocompuesto asfalto-biomasa producidas. *Revista UIS Ingenierías*, 22(2),

15–28. <https://doi.org/10.18273/revuin.v22n2-2023002>

Posso Arévalo, O. G., Montaña Sanabria, H. A., & Vega Castro, O. (2024). Asfaltos modificados con caucho reciclado para la mejora de carreteras terciarias del municipio de Pesca Boyacá. *Prospectiva*, 22(2), 112–124.
<https://doi.org/10.15665/rp.v22i2.3450>

Quispe Torres, G. (2022). *Desempeño óptimo de una mezcla asfáltica en caliente modificada con Polímero Styrene Butadiene Styrene* [Tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio URP.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/URPU_c8cff72f7db38c162aeff7823e214642

Rojas Rojas, G. A., Aguiar Moya, J. P., Arias Barrantes, E., & Baldi, A. (2021). Modificación del asfalto con orujo de uva roja como material antioxidante. *Infraestructura Vial*, 23(41), 1–10. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i41.44419>

Staub de Melo, J. V., Tonial, M., & Manfro, A. L. (2025). Impact of incorporating latex glove fragments on the rheological and mechanical properties of a conventional asphalt matrix. *Construction and Building Materials*, 476(141295), 141295. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141295>

United Nations. (2021). Equipo universitario crea concreto “verde” para la construcción sostenible | Naciones Unidas. Retrieved April 4, 2025, from.
<https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/equipo-universitario-crea-concreto-%E2%80%9Cverde%E2%80%9D-para-la-construcci%C3%B3n-sostenible>

Xie, J., Li, S., He, W., Ding, Z., Lu, Z., & Zhao, X. (2025). Molecular simulation of

graft-activated crumb rubber modified asphalt: A study on high temperature performance and its interface behavior with aggregate. *Surfaces and Interfaces*, 58(105827), 105827. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.105827>

Zhang, L., Zhang, Y., Chen, Q., Ma, Y., Wu, Y., & Chen, M. (2022). Toughness and rheological properties of asphalt modified with cotton straw powder and cellulose. *Materials Research Express*, 9(2), 025507. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac5277>

Zhang, S., Kan, S., Wen, F., Sun, J., Zhang, Z., Tian, P., & Yang, Y. (2025). Micro-morphology of the epoxy asphalt cured with a bio-based curing agent and the performance of the asphalt mixture. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 139(103980), 103980. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2025.103980>

Zhang, S., Yan, Y., Yang, Y., & Ding, T. (2024). Effect of the reclaiming degree of catalytic pre-desulfurization recycled crumb rubber on the properties of modified asphalt. *Case Studies in Construction Materials*, 20(e03224), e03224. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03224>

Anexos

Anexo 01. Tablas de operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Residuos de caucho y conchas de abanico	<p>El residuo de caucho es el material obtenido de neumáticos usados, procesado para mejorar su durabilidad y versatilidad en aplicaciones industriales (Ji et al., 2024). También Zhang et al., (2024) nos menciona que se somete a procesos de transformación para mejorar su estructura y propiedades mecánicas.</p> <p>Y las conchas de abanico, compuestas en un 95% por carbonato cálcico, representan una fuente de materia prima con potencial de reutilización. Su alta concentración de carbonato de calcio permite, mediante calcinación, obtener óxido de calcio, material con propiedades similares al polvo de piedra caliza (De La Cruz Vega et al., 2022).</p>	<p>Se dosificará el caucho de neumático molido (GTR) en asfalto modificado y las conchas de abanico en 3 diseños asfálticos (4%, 8% y 12%) y (2% 4% 6%) respectivamente, teniendo como finalidad disminuir su deformación del asfalto, aumentando la estabilidad de la mezcla asfáltico y reducir la relación de vacíos, inicialmente se realizarán procedimientos para los diferentes ensayos de agregados, para esta se medirá mediante pruebas de análisis granulométricos.</p> <p>Según Contreras Avendaño (2020) mediante un análisis de laboratorio realizaron el ensayo de granulometría que busca analizar la distribución del tamaño de partículas de caucho en el asfalto modificado.</p>	<p>Granulometría</p> <p>Dosificación</p>	<p>En caucho reciclado La malla mínima recomendada para el agregado de caucho reciclado en mezclas asfálticas es la malla N° 60 y tiene que tener un tamaño máx. de 4.75 mm (Malla N° 04)</p> <p>Para la concha de abanico debe pasar la malla N° 200 (0,075mm)</p> <p>Para el caucho reciclado triturado, se considera una dosificación en peso de 4%-12%</p> <p>Para la concha de abanico, una dosificación en peso de agregados pétreos de 2%-8%</p>	De intervalo

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Asfalto	<p>El asfalto es un aglutinante bituminoso de alta viscosidad, color oscuro y textura pegajosa, compuesto por asfaltenos y maleatos. Es termoplástico, endurece al enfriarse y se ablanda con el calor. Su estructura química influye en la durabilidad del pavimento (Muñoz Pérez et al., 2023).</p> <p>El convencional, obtenido a partir de la destilación del petróleo crudo y con propiedades viscoelásticas que favorecen su adherencia y resistencia a la deformación; y el modificado, cuya composición fue alterada mediante la incorporación de aditivos como nanomateriales, con el objetivo de mejorar su durabilidad, viscosidad, resistencia térmica y capacidad de carga (Bobadilla Peña et al., 2022).</p>	<p>El asfalto se define operacionalmente como una mezcla bituminosa cuya estabilidad y flujo se puede medir mediante el ensayo Marshall, el cual permite evaluar la capacidad de la mezcla para resistir cargas y deformaciones bajo condiciones de tráfico. Este ensayo proporciona dos variables clave: la estabilidad Marshall, que es la carga máxima que soporta la muestra antes de fallar, y el flujo Marshall, que es la deformación que sufre hasta ese punto de falla (ASTM International, 2022). Esto se puede corroborar mediante un análisis de laboratorio, según Julio y Goiriz (2022), el método Marshall consiste en preparar muestras cilíndricas de mezcla asfáltica con diferentes contenidos de asfalto, compactarlas con un martillo estándar, y evaluarlas mediante ensayos de estabilidad y flujo.</p>	Resistencia a la compresión Porcentaje de absorción	min. 900kg máx. 4000kg De 0% a 2% (ASTM D2726)	De intervalo

ANEXO 02. Instrumento de recolección de datos

FICHA DE CAMPO: ELABORACIÓN DE BRIQUETAS MARSHALL USANDO CAUCHO RECICLADO (CR) Y CONCA DE ABANICO (CA)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "PROPUESTA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO MEJORADO CON CAUCHO RECICLADO Y POLVO DE CONCHA DE ABANICO"

NOMBRE DEL RESPONSABLE: GRUPO 2

LUGAR DEL ENSAYO: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELO - FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - UCV MOCHE-TRUJILLO

TEMPERATURA AMBIENTE: 20 °C

FECHA:

1. MATERIALES:

AGREGADOS	CANTIDAD (gr)	LUGAR DE OBTENCIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
GRAVA:	5760	ARENERA JAEN SAC	TAMIZ 1/2"-Nº4	SE MANTIENEN EN 30%
ARENA GRUESA	9840	ARENERA JAEN SAC	TAMIZ N°4-N°200	-
LIQUIDO ASFALTICO	1152	PROMART	ASFALTO RC-250	4%-8% DE LA MUESTRA EN PESO
FILLER (CEMENTO)	720	PROMART	TAMIZ PASA N°80-N°200	2%-8% DE MUESTRA EN PESO
FILER (CONCHA DE ABANICO)	576	RESTAURANTE DELICIA MARINA	TAMIZ PASA N°30-N°200	REEMPLAZA % DE ARENA Y CEMENTO EN LA M1
CAUCHO RECICLADO	1152	CANCHAS DEPORTIVAS PELOTEROS	TAMIZ N°4-N°200	REEMPLAZA % DE ARENA

2. PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

- a. COLOCAR EN HORNO LOS MATERIALES POR 12 HORAS A TEMPERATURA 105°C-110°C
- b. REALIZAR EL TAMIZADO DE LOS MATERIALES SEPARADOS MEDIANTE LA NORMA (ASTM C136)
- c. REALIZAR EL PESAJE DEL AGREGADO EN CADA TAMIZ
- d. COLOCAR LOS DATOS OBTENIDOS EN EL FORMATO A CONTINUACIÓN POR CADA AGREGADO (GRAVA, ARENA, CR Y CA)

3. RESULTADOS DEL ENSAYO GRANULOMÉTRICO

ASTM D-422

PROYECTO:	"Propuesta de pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico"		
SOLICITANTE:	GRUPO 02		
MATERIAL:			
UBICACIÓN:	Laboratorio de Mecánica de suelo - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - UCV Moche-TRUJILLO	PRO V,	Trujillo
FECHA:		DIST,	Moche

DATOS DEL ENSAYO

PESO SECO INICIAL		(gr.)	10		
Tamices ASTM	Abertura en mm,	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76,200	0	0	0	100
2 1/2"	63,500	0	0	0	100
2"	50,600	0	0	0	100
1 1/2"	38,100	0	0	0	100
1"	25,400	0	0	0	100
3/4"	19,050	0	0	0	100
1/2"	12,700	0	0	0	100
3/8"	9,525	0	0	0	100
1/4"	6,350	0	0	0	100
Nº 4	4,178	0	0	0	100
8	2,360	0	0	0	100
10	2,000	0	0	0	100
16	1,180	0	0	0	100
20	0,850	0	0	0	100
30	0,600	0	0	0	100
40	0,420	0	0	0	100
50	0,300	0	0	0	100
60	0,250	0	0	0	100
80	0,180	0	0	0	100
100	0,150	0	0	0	100
200	0,074	0	0	0	100
< 200		0	0	0	100
Total		0			

4. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA POR MUESTRA

	CONVENCIONAL (M0)		M1		M2		M3	
AGREGADOS	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr
GRAVA	30%	360	30%	360	30%	360	30%	360
ARENA	59%	708	58%	696	47%	564	41%	492
CAUCHO RECICLADO	--	--	4%	48	8%	96	12%	144
FILLER (CEMENTO)	5%	60	-	-	5%	60	5%	60
FILLER (CONCHA DE ABANICO)	--	--	2%	24	4%	48	6%	72
LÍQUIDO ASFÁLTICO	6%	72	6%	72	6%	72	6%	72
TOTAL	100%	1200	100%	1200	100%	1200	100%	1200

%ASFALTO	TODAS LAS MUESTRAS 6% DE ASFALTO
TEMPERATURA DE MEZCLADO :	150 -175°C
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN:	135 -155°C
N° DE GOLPES POR CARA:	75 golpes
TEMPERATURA DE CURADO:	Al ambiente (20°C)
TIEMPO DE CURADO :	24 Horas
DIÁMETRO DE BRIQUETAS POR MUESTRA	10 -11 CM
CANTIDAD DE BRIQUETAS POR MUESTRA	4
TOTAL DE BRIQUETAS	16

5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y MECÁNICO

	CONVENCIONAL			MODIFICADO-1			MODIFICADO 2			MODIFICADO 3		
BRIQUETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIPO DE MEZCLA	M0-A	M0-B	M0-C	M1-A	M1-B	M1-D	M2-A	M2-B	M2-C	M3-A	M3-B	M3-C
% DE ASFALTO	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6	6,4	6,1	7,1	7,2	7,1	7,5	7,5	7,7	7,7	7,9	8
DIÁMETRO DE LA BRIQUETA (cm)	10	10,1	10	10,2	10,4	10,5	10,1	10,1	10,1	10	10,1	10,2
VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)												
LECTURA DE CARGA (Kg)	2984	2102	2102	2189	2087	1890	2908	3007	2631	2860	3049	2828

ANÁLISIS FÍSICO												
Peso seco de mezcla compactada (A) [g]	1154,2	1127	1151,2	1163,5	1132,1	1080,8	1145,1	1204,8	1174	1160,8	1172,1	1171,6
Peso sumergido mezcla compactada (C) [g]	620	600	610	580	540	555	550	560	520	540	530	530
Peso SSD mezcla compactada (B) [g]	1155,50	1128,60	1152,50	1170,70	1140,60	1093,90	1155,00	1209,60	1192,30	1164,70	1180,20	1182,50
Gmb = A / (B - C)	2,16	2,13	2,12	1,97	1,88	2,01	1,89	1,85	1,75	1,86	1,80	1,80
% DE ABSORCIÓN DE AGUA	0,11%	0,14%	0,11%	0,62%	0,75%	1,21%	0,86%	0,40%	1,56%	0,34%	0,69%	0,93%

Gravedad Específica Bulk de los agregados	Arena	Grava	CA	CR	Cemento
Peso seco del agregado (W_seco) [g]	50	50	50	50	-
Peso SSD del agregado (W_SSD) [g]	56,7	50,3	63	57,4	-
Peso sumergido del agregado (W_sumergido) [g]	19,5	20	33	45	-
Gsb = W_seco / (W_SSD - W_sumergido)	1,344	1,650	1,667	4,032	3,15

ANEXO 03. Validación del instrumento.

FICHA DE CAMPO: ELABORACIÓN DE BRIQUETAS MARSHALL USANDO CAUCHO RECICLADO (CR) Y CONCA DE ABANICO (CA)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "PROPUESTA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO MEJORADO CON CAUCHO RECICLADO Y POLVO DE CONCHA DE ABANICO"

NOMBRE DEL RESPONSABLE: GRUPO 2

LUGAR DEL ENSAYO: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELO - FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - UCV MOCHÉ-TRUJILLO

TEMPERATURA AMBIENTE: 20 °C

FECHA:

1. MATERIALES:

AGREGADOS	CANTIDAD (gr)	LUGAR DE OBTENCIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
GRAVA:	5760	ARENERA JAEN SAC	TAMIZ 1/2"-N°4	SE MANTIENEN EN 30%
ARENA GRUESA	9840	ARENERA JAEN SAC	TAMIZ N°4-N°200	-
LIQUIDO ASFALTICO	1152	PROMART	ASFALTO RC-250	4%-8% DE LA MUESTRA EN PESO
FILLER (CEMENTO)	720	PROMART	TAMIZ PASA N°80-N°200	2%-8% DE MUESTRA EN PESO
FILER (CONCHA DE ABANICO)	576	RESTAURANTE DELICIA MARINA	TAMIZ PASA N°30-N°200	REEMPLAZA % DE ARENA Y CEMENTO EN LA M1
CAUCHO RECICLADO	1152	CANCHAS DEPORTIVA PELOTEROS	TAMIZ N°4-N°200	REEMPLAZA % DE ARENA

2. PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

- a. COLOCAR EN HORNO LOS MATERIALES POR 12 HORAS A TEMPERATURA 105°C-110°C
- b. REALIZAR EL TAMIZADO DE LOS MATERIALES SEPARADOS MEDIANTE LA NORMA (ASTM C136)
- c. REALIZAR EL PESAJE DEL AGREGADO EN CADA TAMIZ
- d. COLOCAR LOS DATOS OBTENIDOS EN EL FORMATO A CONTINUACIÓN POR CADA AGREGADO (GRAVA, ARENA, CR YCA)


CIP 196623
GIANFRANCO POLO MENEZES




CIP 182197
Jorge Luis
Plascencia

3. RESULTADOS DEL ENSAYO GRANULOMÉTRICO

ASTM D-422

PROYECTO:	"Propuesta de pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico"		
SOLICITANTE:	GRUPO 02		
MATERIAL:			
UBICACIÓN:	Laboratorio de Mecánica de suelo - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - UCV Moche-TRUJILLO	PROV	Trujillo
FECHA:		DIST.	Moche

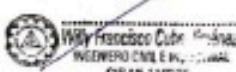
DATOS DEL ENSAYO

PESO SECO INICIAL		(gr.)	10		
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76,200	0	0	0	100
2 1/2"	63,500	0	0	0	100
2"	50,600	0	0	0	100
1 1/2"	38,100	0	0	0	100
1"	25,400	0	0	0	100
3/4"	19,050	0	0	0	100
1/2"	12,700	0	0	0	100
3/8"	9,525	0	0	0	100
1/4"	6,350	0	0	0	100
Nº 4	4,178	0	0	0	100
8	2,360	0	0	0	100
10	2,000	0	0	0	100
16	1,180	0	0	0	100
20	0,850	0	0	0	100
30	0,600	0	0	0	100
40	0,420	0	0	0	100
50	0,300	0	0	0	100
60	0,250	0	0	0	100
80	0,180	0	0	0	100
100	0,150	0	0	0	100
200	0,074	0	0	0	100
< 200		0	0	0	100
Total		0			



CIP 196683

Gianni Francisco Polo MEENDZA



Willy Francisco Cárdenas
INGENIERO CIVIL EN INGENIERÍA
OPM 110021



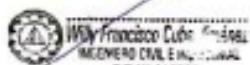
Jorge Luis
Plascencia
18/10/2017

4. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA POR MUESTRA

	CONVENCIONAL (M0)		M1		M2		M3	
AGREGADOS	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr
GRAVA	30%	360	30%	360	30%	360	30%	360
ARENA	59%	708	58%	696	47%	564	41%	492
CAUCHO RECICLADO	--	--	4%	48	8%	96	12%	144
FILLER (CEMENTO)	5%	60	-	-	5%	60	5%	60
FILLER (CONCHA DE ABANICO)	--	--	2%	24	4%	48	6%	72
LÍQUIDO ASFÁLTICO	6%	72	6%	72	6%	72	6%	72
TOTAL	100%	1200	100%	1200	100%	1200	100%	1200

%ASFALTO	TODAS LAS MUESTRAS 6% DE ASFALTO
TEMPERATURA DE MEZCLADO:	150 -175°C
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN:	135 -155°C
Nº DE GOLPES POR CARA:	75 golpes
TEMPERATURA DE CURADO:	Al ambiente (20°C)
TIEMPO DE CURADO:	24 horas
DIÁMETRO DE BRIQUETAS POR MUESTRA	10 -11 CM
CANTIDAD DE BRIQUETAS POR MUESTRA	4
TOTAL DE BRIQUETAS	12


CIP 196623
GRANY FRANCO POLO MENEZEN



MINISTERIO PÚBLICO
MINISTERIO PÚBLICO
CIP-NP-110520

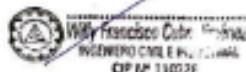

JL
JULY 18 2017
Jorge Luis
Pascencio

ANÁLISIS MECÁNICO (NTP 321.111)												
	CONVENCI- ONAL			MODIFICADO- 1			MODIFICADO 2			MODIFICADO 3		
BRIQUETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIPO DE MEZCLA	M0-A	M0-B	M0-C	M1-A	M1-B	M1-D	M2-A	M2-B	M2-D	M3-A	M3-B	M3-C
% DE ASFALTO												
ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)												
DIÁMETRO DE LA BRIQUETA (cm)												
VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)												
LECTURA DE CARGA (Kg)												
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)												

ANÁLISIS FÍSICO												
Peso seco de mezcla compactada (A) [g]												
Peso sumergido mezcla compactada (C) [g]												
Peso SSD mezcla compactada (B) [g]												
Gmb = A / (B - C)												
% DE ABSORCIÓN DE AGUA												

Gravedad Específica Bulk de los agregados	Arena	Grava	CA	CR	Cemento
Peso seco del agregado (W_seco) [g]					-
Peso SSD del agregado (W_SSD) [g]					-
Peso sumergido del agregado (W_sumergido) [g]					-
Gsb = W_seco / (W_SSD - W_sumergido)					3,15


 C.I.P 196623
 Gianni Franco Polo Mendoza




 C.I.P 182197.
 Jorge Luis
 Plascencia

ANEXO 04. Solicitud de autorización de uso de laboratorio de Mecánica de Suelos para la elaboración de probetas marshall



ANEXO 05. Tablas de Análisis Granulométrico

Tabla 5

Análisis granulométrico de grava

PROYECTO:	"Propuesta de pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico"				
SOLICITANTE:	GRUPO 02				
MATERIAL:	Grava				
UBICACIÓN:	Laboratorio de Mecánica de suelo - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - UCV Moche-TRUJILLO			PROV,	
FECHA:	15-05-2025			DIST,	Moche
DATOS DEL ENSAYO					
PESO SECO INICIAL			(gr.)	7690	
Tamices ASTM	Abertura en mm,	Peso Retenido	%Retenid o Parcial	%Retenid o Acumulad o	% que Pasa
3"	76,200	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
2 1/2"	63,500	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
2"	50,600	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	38,100	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,400	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	392,243	5,10%	5,10%	94,90%
1/2"	12,700	2.561,043	33,30%	38,40%	61,60%
3/8"	9,525	2.184,743	28,41%	66,81%	33,19%
1/4"	6,350	2.215,443	28,81%	95,62%	4,38%
Nº 4	4,178	286,543	3,73%	99,35%	0,65%
8	2,360	39,143	0,51%	99,86%	0,14%
10	2,000	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
16	1,180	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
20	0,850	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
30	0,600	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
40	0,420	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
50	0,300	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
60	0,250	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
80	0,180	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
100	0,150	0,000	0,00%	99,86%	0,14%
200	0,074	0,000	0,00%	99,86%	0,14%

< 200		10,843	0,14%	100,00%	0,00%
Total		7.690			

Tabla 6

Análisis granulométrico de caucho

PROYECTO:	"Propuesta de pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico"				
SOLICITANTE:	GRUPO 02				
MATERIAL:	Caucho				
UBICACIÓN:	Laboratorio de Mecánica de suelo - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - UCV Moche-TRUJILLO			PROV,	Trujillo
FECHA:	15-05-2025			DIST,	Moche
DATOS DEL ENSAYO					
PESO SECO INICIAL (gr.)			1840		
Tamices ASTM	Abertura en mm,	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76,200	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
2 1/2"	63,500	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
2"	50,600	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	38,100	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,400	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,525	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1/4"	6,350	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
Nº 4	4,178	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
8	2,360	177,200	9,63%	9,63%	90,37%
10	2,000	576,100	31,31%	40,94%	59,06%
16	1,180	1.002,500	54,48%	95,42%	4,58%
20	0,850	75,700	4,11%	99,54%	0,46%
30	0,600	6,400	0,35%	99,89%	0,11%
40	0,420	0,000	0,00%	99,89%	0,11%
50	0,300	0,000	0,00%	99,89%	0,11%
60	0,250	0,000	0,00%	99,89%	0,11%
80	0,180	0,000	0,00%	99,89%	0,11%
100	0,150	0,000	0,00%	99,89%	0,11%

200	0,074	0,000	0,00%	99,89%	0,11%
< 200		2,100	0,11%	100,00%	0,00%
Total		1.840,000			

Tabla 7

Análisis granulométrico de arena

PROYECTO:	"Propuesta de pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico"				
SOLICITANTE:	GRUPO 02				
MATERIAL:	Arena				
UBICACIÓN:	Laboratorio de Mecánica de suelo - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - UCV Moche-TRUJILLO			PROV,	Trujillo
FECHA:	15-05-2025			DIST,	Moche
DATOS DEL ENSAYO					
PESO SECO INICIAL (gr.)			1000		
Tamices ASTM	Abertura en mm,	Peso Retenido	%Retenid o Parcial	%Retenid o Acumulad o	% que Pasa
3"	76,200	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
2 1/2"	63,500	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
2"	50,600	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	38,100	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,400	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,525	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1/4"	6,350	8,436	0,84%	0,84%	99,16%
Nº 4	4,178	44,036	4,40%	5,25%	94,75%
8	2,360	117,536	11,75%	17,00%	83,00%
10	2,000	29,536	2,95%	19,95%	80,05%
16	1,180	153,836	15,38%	35,34%	64,66%
20	0,850	60,536	6,05%	41,39%	58,61%
30	0,600	113,436	11,34%	52,74%	47,27%
40	0,420	133,336	13,33%	66,07%	33,93%
50	0,300	79,136	7,91%	73,98%	26,02%
60	0,250	46,836	4,68%	78,67%	21,33%
80	0,180	100,936	10,09%	88,76%	11,24%

100	0,150	26,236	2,62%	91,38%	8,62%
200	0,074	60,336	6,03%	97,42%	2,58%
< 200		25,836	2,58%	100,00%	0,00%
Total		1.000,000			

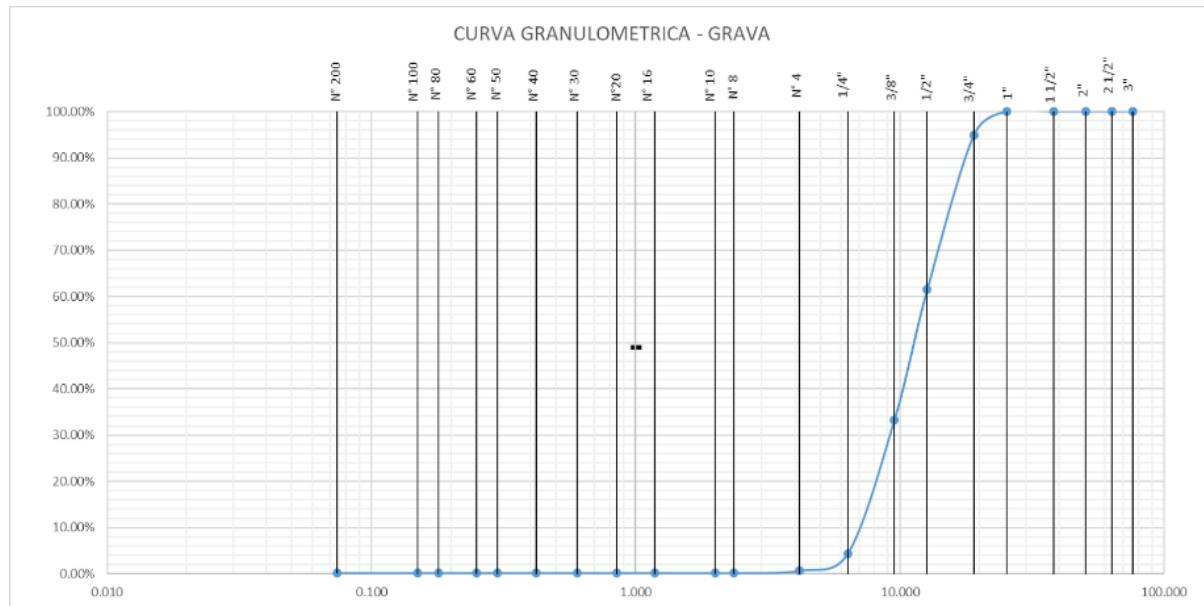
Tabla 8

Análisis granulométrico de polvo de concha de abanico

PROYECTO:	"Propuesta de pavimento asfáltico mejorado con caucho reciclado y polvo de concha de abanico"				
SOLICITANTE:	GRUPO 02				
MATERIAL:	Polvo de concha de abanico				
UBICACIÓN:	Laboratorio de Mecánica de suelo - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - UCV Moche-TRUJILLO			PROV,	Trujillo
FECHA:	15-05-2025			DIST,	Moche
DATOS DEL ENSAYO					
PESO SECO INICIAL			(gr.)	1214	
Tamices ASTM	Abertura en mm,	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76,200	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
2 1/2"	63,500	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
2"	50,600	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	38,100	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,400	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,050	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1/2"	12,700	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
3/8"	9,525	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
1/4"	6,350	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
Nº 4	4,178	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
8	2,360	0,000	0,00%	0,00%	100,00%
10	2,000	0,773	0,06%	0,06%	99,94%
16	1,180	20,873	1,72%	1,78%	98,22%
20	0,850	100,373	8,27%	10,05%	89,95%
30	0,600	211,073	17,39%	27,44%	72,56%
40	0,420	183,673	15,13%	42,57%	57,43%
50	0,300	171,273	14,11%	56,68%	43,32%
60	0,250	78,073	6,43%	63,11%	36,89%

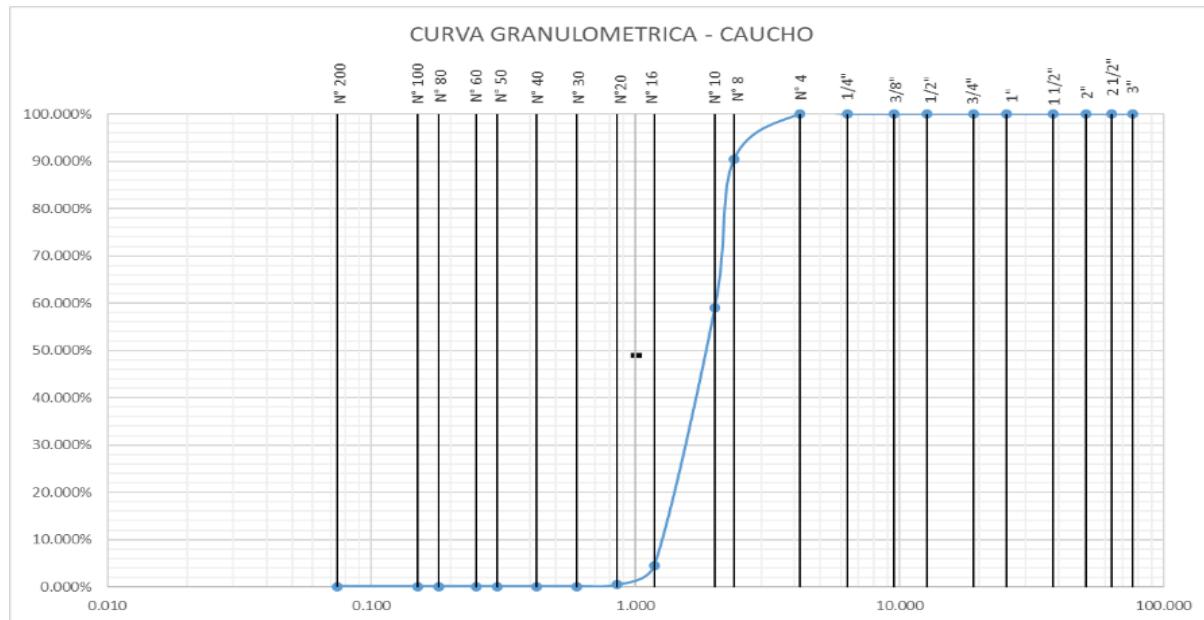
80	0,180	285,273	23,50%	86,60%	13,40%
100	0,150	98,373	8,10%	94,71%	5,29%
200	0,074	41,273	3,40%	98,11%	1,89%
< 200		22,973	1,89%	100,00%	0,00%
Total		1.214,000			

ANEXO 06. Análisis granulométrico de agregado grueso (grava)



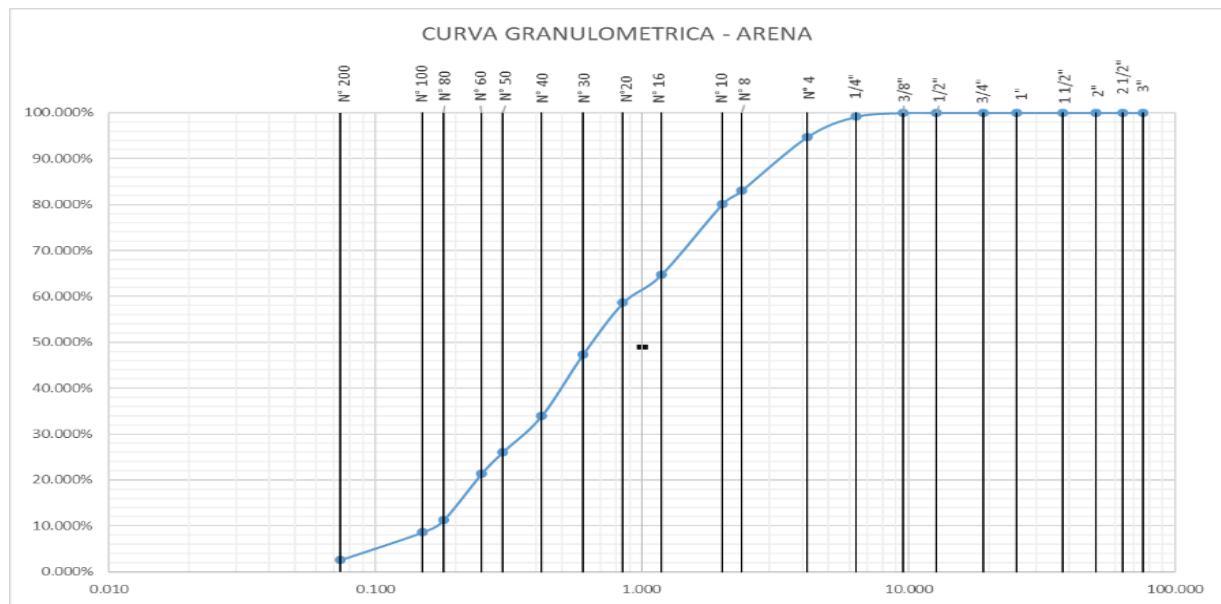
Nota: El gráfico muestra el porcentajes de agregado grueso (grava) que paso a través del tamiz

ANEXO 07. Análisis granulométrico de agregado grueso (caucho)



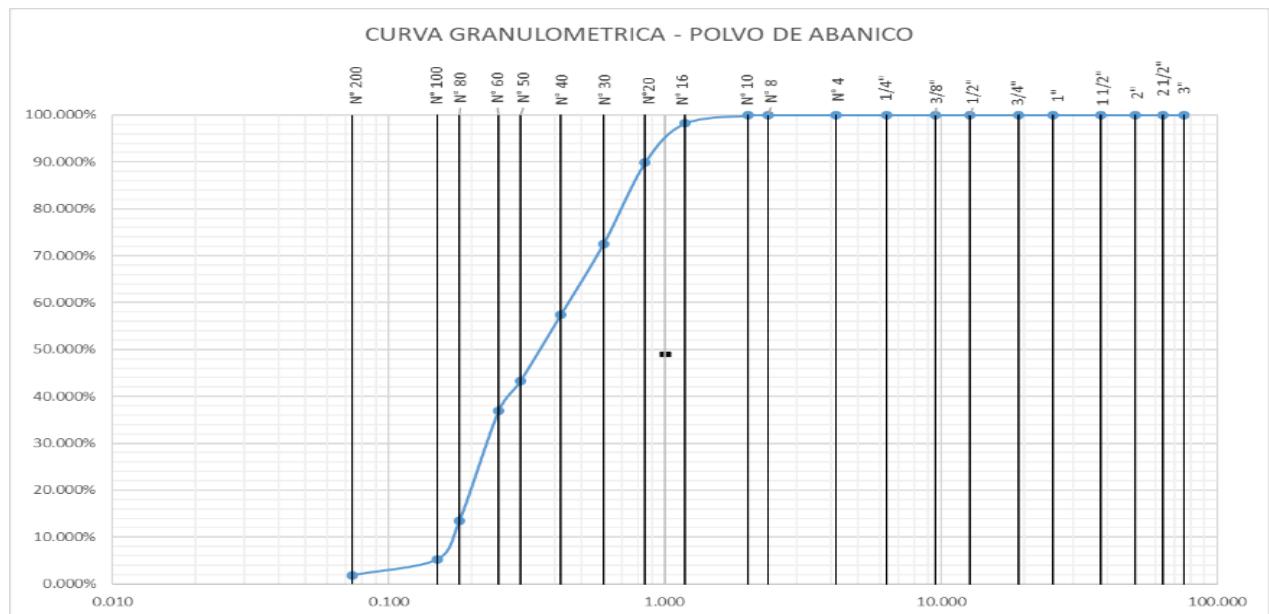
Nota: El gráfico muestra el porcentajes de agregado grueso (caucho) que paso a través del tamiz

ANEXO 08. Análisis granulométrico de agregado fino (arena)



Nota: El gráfico muestra el porcentajes de agregado fino (arena) que paso a través del tamiz

ANEXO 9. Análisis granulométrico de agregado fino (polvo de concha de abanico)



Nota: El gráfico muestra el porcentajes de agregado fino (polvo de concha de abanico) que paso a través del tamiz

ANEXO 10. Materiales utilizados para la elaboración de briquetas marshall



ANEXO 11. Torre de tamices para Análisis Granulométrico



ANEXO 12. Evidencias de Análisis Granulométrico

a) Granulometría de grava	b) Granulometría de arena
	
c) Granulometría de caucho	d) Granulometría de concha de abanico
	

ANEXO 13. Dosificación y elaboración de muestras

a) Mezclado de agregados	b) Inclusión del líquido asfáltico
	
c) Compactación de la mezcla	d) Extracción de la mezcla
	

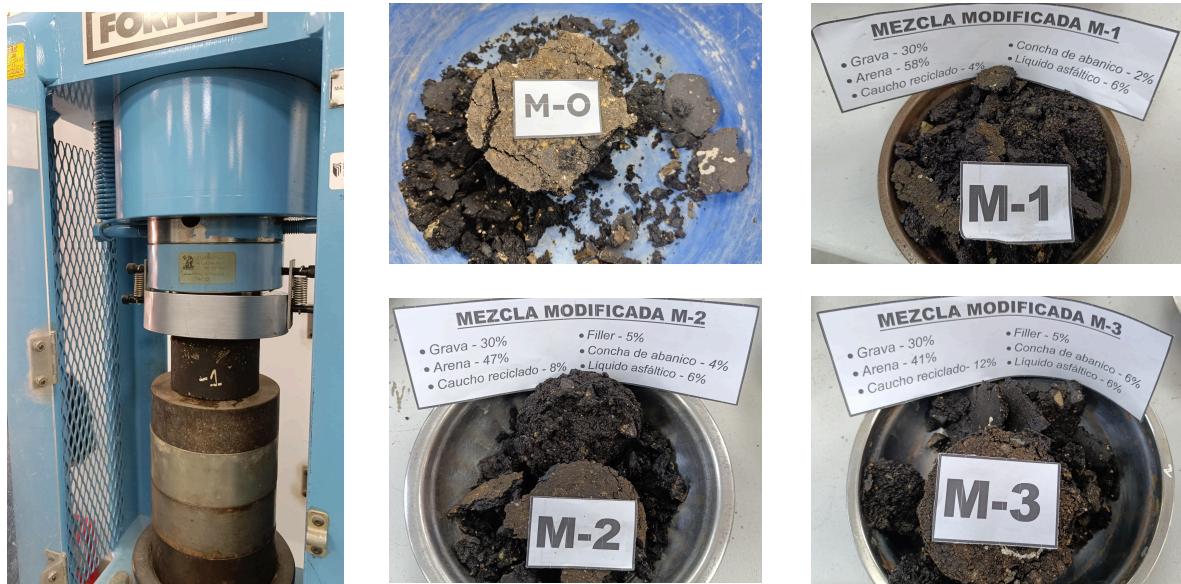
ANEXO 14. Muestras obtenidas



ANEXO 15. Análisis de porcentaje de absorción de agua de las muestras

a) Peso de la muestra seca	b) Muestra sumergida en agua
	
c) Medición de peso de la muestra en el agua	d) Peso de la muestra saturada
	

ANEXO 16. Evidencias de la aplicación de la máquina de compresión



ANEXO 17. Equipo a cargo del proyecto



ANEXO 18. Análisis descriptivo para absorción y resistencia a la compresión

Tabla 9

Análisis de absorción y resistencia a la compresión

	Grupo	Absorción (%)	Resistencia a la compresión (Kg/Cm²)
Media	Convencional	0.120	30.3
	Modificada 1	0.860	24.4
	Modificada 2	0.947	35.6
	Modificada 3	0.653	36.4
Desviación estándar	Convencional	0.0173	6.64
	Modificada 1	0.310	2.48
	Modificada 2	0.595	2.43
	Modificada 3	0.297	1.73

Interpretación:

Los materiales modificados presentan una absorción de agua significativamente mayor que el grupo convencional, destacando el grupo Modificado 2 con la mayor variabilidad en sus datos. En resistencia a la compresión, los grupos modificados muestran valores similares, con el grupo Modificado 3 ligeramente superior, mientras que el grupo convencional tiene una resistencia menor y mayor dispersión en sus datos. Para confirmar si las diferencias observadas en ambos parámetros son estadísticamente significativas, se requiere la aplicación de una prueba ANOVA. Este análisis permitirá establecer con mayor precisión la validez de las diferencias y determinar si los cambios introducidos en los materiales modificados han generado un impacto sustancial en su desempeño.

ANEXO 19. Prueba de normalidad - *Prueba de Shapiro-Wilk*

Tabla 10

Prueba de normalidad - Prueba de Shapiro-Wilk

	% absorción	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
N	12	12
W de Shapiro-Wilk	0.937	0.866
Valor p de Shapiro-Wilk	0.462	0.058

Interpretación:

Al 5% de significancia podemos afirmar que los datos de % de absorción y resistencia a la compresión son normales ($0.462 > 0.05$) y ($0.058 > 0.05$), en resumen se deberá realizar una prueba paramétrica para conocer si hay diferencia significativa entre el asfalto modificado y convencional.

ANEXO 20. Prueba estadística para el ensayo físico de absorción de agua de las muestras

Hipótesis 1: El empleo de caucho reciclado y polvo de concha de abanico en la mezcla asfáltica es superior frente al asfalto convencional, con respecto al porcentaje de absorción.

De la hipótesis planteada, se han identificado dos hipótesis estadísticas la hipótesis nula (H_0) y la alterna o del investigador (H_1).

a. Hipótesis estadísticas:

H_0 : No existen diferencias significativas entre los valores de absorción de agua de la mezcla convencional con la mezcla modificada (M_1, M_2 y M_3)

H_1 : Existen diferencias entre los valores de absorción de agua de la mezcla convencional frente a la mezcla modificada (M_1, M_2 y M_3)

b. Valor $\alpha = 5\%$ (0.05)

c. Regla de decisión: Se rechaza la H_0 si la significancia de la prueba ANOVA

de un factor es menor o igual a 0.05.

Tabla 11

Prueba de ANOVA - Absorción

	F	gl1	gl2	p
% Absorción	7.71	3	3.35	0.053

Interpretación:

Se puede afirmar estadísticamente que no hay diferencias significativas entre los valores de capacidad de absorción, ya que el p-value es mayor a la significancia ($0.053 > 0.05$). Para mejor compresión se optó por aplicar la Prueba Post-Hoc para corroborar lo mencionado anteriormente.

Tabla 12

Prueba Post- Hoc de Games- Howell para el porcentaje de absorción

	Convencional	Modificada 1	Modificada 2	Modificada 3
Convencional	valor p	—	0.130	0.315
Modificada 1	valor p	—	0.995	0.837
Modificada 2	valor p	—	—	0.866
Modificada 3	valor p	—	—	—

Interpretación:

Como se puede observar en la tabla los p-values de la muestra convencional frente a las muestras modificadas son mayores a la significancia por lo que se confirma lo mencionado en el apartado anterior, donde no existen diferencias significativas entre los porcentajes de absorción de la muestra convencional frente a la modificada.

ANEXO 21: Prueba estadística para el ensayo mecánico de compresión de las muestras

Hipótesis 2: El empleo de caucho reciclado y polvo de concha de abanico en la mezcla asfáltica es superior frente al asfalto convencional, con respecto a la

resistencia a la compresión.

a. Hipótesis estadísticas:

H₀: No existen diferencias significativas entre los valores de resistencia de compresión de la mezcla convencional con la mezcla modificada (M₁, M₂ y M₃)

H₁: Existen diferencias entre los valores de resistencia a la compresión de la mezcla convencional frente con la mezcla modificada (M₁, M₂ y M₃)

b. Valor $\alpha = 5\% (0.05)$

c. Regla de decisión: Se rechaza la H₀ si la significancia de la prueba ANOVA de un factor es menor o igual a 0.05.

Tabla 13

ANOVA de Un Factor - Resistencia

	F	gl1	gl2	p
Resistencia a la compresión (Kg/Cm ²)	13.0	3	4.25	0.013

Interpretación:

Se afirmó estadísticamente que existen diferencias entre los valores de resistencia a la compresión con un p-value menor a la significancia ($0.013 < 0.05$), para conocer si existe esta diferencia entre los valores de la mezcla I convencional frente a las demás muestras se aplicó la Prueba Post- Hoc de Games- Howell

Tabla 14

Prueba Post- Hoc de Games- Howell

	Convencional	Modificada 1	Modificada 2	Modificada 3
Convencional	valor p	—	0.564	0.637
Modificada 1	valor p	—	0.017	0.012
Modificada 2	valor p	—	—	0.962
Modificada 3	valor p	—	—	—

Interpretación:

Como se observa, no existe diferencias significativas entre los valores de resistencia a la compresión de la mezcla convencional frente a las mezclas modificadas ya que indican un p-valor mayor a la significancia, mientras que la muestra modificada 1, frente a la modificada 2 y modificada 3, si existe una diferencia entre sus valores, es por ello que se indicó que hubo diferencias entre los valores. Entonces se concluyó que no existen diferencias significativas entre los valores de resistencia de compresión de la mezcla convencional frente a las mezclas modificadas (M1, M2 y M3).