

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas PEN 60/70
en caliente con incorporación de fibras de acero de neumático reciclado**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Edwin Davila Herrera

ASESOR

Joaquin Hernan Rojas Oblitas

<https://orcid.org/0000-0002-6521-0215>

Chiclayo, 2026

**Evaluación del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas
PEN 60/70 en caliente con incorporación de fibras de acero de
neumático reciclado**

PRESENTADO POR

Edwin Davila Herrera

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Angel Alberto Lorren Palomino
PRESIDENTE

José Luis Neyra Torres
SECRETARIO

Joaquin Hernan Rojas Oblitas
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, por ser la base inquebrantable de mi esfuerzo y la inspiración constante que me impulsa a superar cada desafío.

A ellos, que con paciencia, amor y sacrificio me enseñaron que la constancia y la fe son los pilares del éxito.

A mi familia, por su apoyo incondicional y por creer en mí incluso cuando las metas parecían lejanas.

Y a quienes, con su ejemplo y palabras de aliento, me recordaron que los sueños se construyen paso a paso, con trabajo, disciplina y esperanza.

Agradecimientos

A Dios, por guiar cada paso de mi camino y concederme la fortaleza necesaria para culminar esta etapa de formación.


A mis padres, cuyo amor incondicional me ha impulsado a seguir adelante, por enseñarme a perseverar y por ser el ejemplo constante de esfuerzo y dedicación.

A mi familia, por el respaldo y la comprensión brindados en los momentos más difíciles, convirtiéndose en mi mayor fuente de motivación.

A mi asesor, por su orientación, paciencia y valiosas recomendaciones que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Y a todos quienes, con sus palabras, gestos o acciones, aportaron de alguna manera a la realización de esta investigación, mi sincero y profundo agradecimiento.

DAVILA HERRERA EDWIN-Evaluación del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas PEN 6070 en caliente co...

 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Document Details

Submission ID

trn:old::3117:581107655

Submission Date

Apr 20, 2026, 7:59 PM GMT-5

Download Date

Apr 20, 2026, 9:34 PM GMT-5

File Name

DAVILA HERRERA EDWIN-Evaluación del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticasdocx

File Size

171.1 KB

91 Pages

26,341 Words

142,560 Characters




16% Overall Similarity

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

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 9 words)

Top Sources

- 14%  Internet sources
 - 1%  Publications
 - 11%  Submitted works (Student Papers)
-

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| Resumen | 11 |
| Abstrac..... | 13 |
| Introducción..... | 14 |
| Revisión de literatura..... | 16 |
| Materiales y métodos..... | 39 |
| Resultados y Discusión..... | 68 |
| Conclusiones..... | 93 |
| Recomendaciones | 95 |
| Referencias | 96 |
| Anexos | 100 |
| Anexo N°01: Registro fotográfico..... | 100 |
| Anexo N°02: Validación de ensayos | 102 |

Lista de tablas

| | |
|--------------------|----|
| TABLA I | 27 |
| TABLA II | 27 |
| TABLA III..... | 28 |
| TABLA IV..... | 34 |
| TABLA V | 41 |
| TABLA VI..... | 41 |
| TABLA VII..... | 42 |
| TABLA VIII..... | 44 |
| TABLA IX | 45 |
| TABLA X..... | 55 |
| TABLA XI..... | 56 |
| TABLA XII..... | 56 |
| TABLA XIII..... | 56 |
| TABLA XIV..... | 56 |
| TABLA XV | 57 |
| TABLA XVI..... | 64 |
| TABLA XVII | 65 |
| TABLA XVIII..... | 67 |
| TABLA XIX..... | 68 |
| TABLA XX..... | 69 |
| TABLA XXI..... | 70 |
| TABLA XXII | 70 |
| TABLA XXIII..... | 70 |
| TABLA XXIV | 70 |
| TABLA XXV | 71 |
| TABLA XXVI..... | 71 |
| TABLA XXVII | 71 |
| TABLA XXVIII | 72 |
| TABLA XXIX..... | 72 |
| TABLA XXX | 73 |
| TABLA XXXI..... | 73 |
| TABLA XXXII | 73 |
| TABLA XXXIII | 74 |

| | |
|---------------------|----|
| TABLA XXXIV | 74 |
| TABLA XXXV | 74 |
| TABLA XXXVI..... | 74 |
| TABLA XXXVII..... | 75 |
| TABLA XXXVIII | 75 |
| TABLA XXXIX..... | 76 |
| TABLA XL | 78 |
| TABLA XLI..... | 79 |
| TABLA XLII..... | 80 |
| TABLA XLIII | 81 |
| TABLA XLIV | 82 |
| TABLA XLV..... | 84 |
| TABLA XLVI..... | 85 |
| TABLA XLVII..... | 85 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Fig.1. Componentes de pavimento rígido..... | 26 |
| Fig.2. Flujograma. | 43 |
| Fig.3. Organigrama de procedimiento..... | 45 |
| Fig.4. Fibra de acero obtenida en planta de reciclaje. | 46 |
| Fig.5. Diámetro del alambre. | 48 |
| Fig.6. Formas de alambre. | 48 |
| Fig.7. Ensayo de granulometría para agregados..... | 49 |
| Fig.8. Peso de agregado grueso de peso específico..... | 49 |
| Fig.9. Tara de fiola para ensayo de peso específico | 50 |
| Fig.10. Ensayo de contenido de Humedad. | 50 |
| Fig.11. Colocación de muestras al horno – Agregado Grueso. | 51 |
| Fig.12. Ensayo de partículas chatas alargadas..... | 51 |
| Fig.13. Ensayo de partículas fracturadas. | 52 |
| Fig.14. Ensayo equivalente de arena. | 52 |
| Fig.15. Ensayo límite plástico. | 53 |
| Fig.16. Ensayo resistencia al desgaste..... | 53 |
| Fig.17. Ensayo de sales solubles. | 54 |
| Fig.18. Ensayo de azul de metileno..... | 54 |
| Fig.19. Ensayo de durabilidad de sulfato de magnesio (peso de material disgregado).. | 55 |
| Fig.20. Muestras de asfalto a ser pesadas..... | 55 |
| Fig.21. Pesaje de agregados..... | 57 |
| Fig.22. Cemento asfáltico en el horno..... | 57 |
| Fig.23. Mezcla de agregados y filer con cemento asfáltico..... | 58 |
| Fig.24. Llenado de la briqueta con el material mezclado..... | 58 |
| Fig.25. Chuseado de la mezcla asfáltica en briqueta. | 58 |
| Fig.26. Compactado de briquetas. | 59 |
| Fig.27. Retiro de briqueta compactada del martillo compactador..... | 59 |
| Fig.28. Total, de briquetas compactadas. | 59 |
| Fig.29. Registro de estabilidad y flujo..... | 60 |
| Fig.30. Ensayo Marshall..... | 60 |
| Fig.31. Muestras sometidas al ensayo de Cantabro..... | 61 |
| Fig.32. Cantabro, muestra ensayada y sin ensayar. | 61 |
| Fig.33. Lottman, inmersión de muestras en baño maría..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Fig.34. Dimensiones de la briqueta | 63 |
| Fig.35. Masa de fibra de acero de neumático reciclado, en la briqueta..... | 63 |
| Fig.36. Programa G*Power. | 65 |
| Fig. 37. Fibra de acero por porcentaje establecido. | 66 |
| Fig.38. Curva Granulométrica | 69 |
| Fig.39. Diagrama de curva Marshall con fibra de acero, datos de estabilidad..... | 76 |
| Fig.40. Diagrama de curva Marshall con fibra de acero, datos de flujo..... | 77 |
| Fig.41. Diagrama de curva Marshall con fibra de acero, datos Índices de rigidez..... | 77 |
| Fig.42. Desgaste por Cantabro 24°C | 78 |
| Fig.43. Desgaste por Cantabro 60°C. | 79 |
| Fig.44. Promedio de (TRS). | 80 |

Lista de ecuaciones

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. Peso específico de masa [34]. | 28 |
| Ecuación 2. Peso específico de masa saturado con superficie seca [34]. | 29 |
| Ecuación 3. Peso específico aparente [34]. | 29 |
| Ecuación 4. Absorción [34]. | 29 |
| Ecuación 5. Peso específico de masa [34]. | 29 |
| Ecuación 6. Peso específico de masa saturada con superficie seca [34]. | 29 |
| Ecuación 7. Peso específico aparente [34]. | 29 |
| Ecuación 8. Absorción [34]. | 30 |
| Ecuación 9. Peso unitario compactado o suelto [34]. | 30 |
| Ecuación 10. Contenido de humedad total evaporable [34]. | 30 |
| Ecuación 11. Porcentaje de masa de partículas con el número especificado de caras fracturadas con aproximación al 1%[34]. | 31 |
| Ecuación 12. Porcentaje de partículas chatas y alargadas [34]. | 31 |
| Ecuación 13. Equivalente de arena (EA) [34]. | 32 |
| Ecuación 14. Límite plástico [34]. | 32 |
| Ecuación 15. Índice de plasticidad [34]. | 32 |
| Ecuación 16. Peso específico aparente [34]. | 33 |
| Ecuación 17. Fórmula del ensayo de resistencia al desgaste [34]. | 34 |
| Ecuación 18. % de sales solubles [34]. | 35 |
| Ecuación 19. Azul de Metileno [35]. | 35 |
| Ecuación 20. Azul de Metileno [35]. | 36 |
| Ecuación 21. Vacíos en la Mezcla Total (VMT) [35]. | 36 |
| Ecuación 22. Vacíos en el agregado mineral (VAM) [35]. | 36 |
| Ecuación 23. Vacíos llenos de asfalto (VFA) [35]. | 37 |
| Ecuación 24. Cántabro [35]. | 37 |
| Ecuación 25. Resistencia a la Tracción Indirecta (RTI) [24]. | 38 |
| Ecuación 26. Índice de Resistencia a la Tensión (TSR) [24]. | 38 |
| Ecuación 27. Costo acumulado de mantenimiento en 20 años [43]. | 82 |
| Ecuación 28. Emisiones evitadas [43]. | 84 |

Resumen

La presente investigación tuvo por objetivo analizar el desempeño físico y mecánico de las mezclas asfálticas tipo PEN 60/70 elaboradas en caliente, modificadas mediante el uso de fibras metálicas recicladas provenientes de neumáticos en desuso, con el fin de determinar los efectos técnicos, económicos y ambientales asociados a su aplicación en pavimentos flexibles. El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado y experimental, elaborando mezclas asfálticas con cuatro niveles de dosificación de fibra de acero reciclada (1 %, 2 %, 3 % y 4 %). Para evaluar sus características se aplicaron los ensayos normalizados Marshall, Cantabro y Lottman, siguiendo los procedimientos establecidos por el Manual de Ensayos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), además de la correspondiente caracterización de los materiales utilizados. El porcentaje óptimo de ligante asfáltico se determinó en un valor de 4.9 %, el cual permitió equilibrar cohesión, vacíos y estabilidad de la mezcla asfáltica. Los hallazgos experimentales mostraron que la composición con 3 % de fibra metálica reciclada presentó el mejor desempeño, alcanzando un aumento del 83.8 % en la estabilidad Marshall, una disminución del 29.8 % en el flujo y una reducción del 32 % en la pérdida Cantabro, frente a la mezcla tradicional. Asimismo, el índice de Resistencia a la Tensión (TSR) aumentó de 73.5 % a 88.4 %, lo que demuestra una mejora considerable en la durabilidad y la capacidad frente al deterioro por humedad. Desde una perspectiva económica, la adición de fibra generó un incremento inicial del 1.04 % en el costo unitario por metro cuadrado, aunque permitió extender la vida útil del pavimento analizado de 20 a 28 años y disminuir los gastos de conservación en 15.3 %, alcanzando una relación beneficio–costo entre 1.12 y 1.28. En el aspecto ambiental, la mezcla modificada logró disminuir la emisión de 0.26 toneladas de CO₂ equivalente por cada 20 m³ producidos, además de ahorrar más de 4 GJ de energía y valorar aproximadamente 90 neumáticos reciclados por tramo vial, contribuyendo a una reducción de emisiones de hasta 75 % en comparación con la mezcla tradicional. En síntesis, la adición del 3 % de fibras metálicas recicladas en las mezclas asfálticas en caliente optimiza sus propiedades físico–mecánicas, prolonga su durabilidad estructural y aporta ventajas económicas y ambientales, consolidándose como una alternativa técnica sostenible y eficiente para el fortalecimiento de la infraestructura vial nacional.

Palabras clave: Fibras de acero de neumático reciclado, mezclas asfálticas, propiedades físico-mecánicas, pavimentos.

Abstract

The objective of this research was to analyze the physical and mechanical performance of hot-mix PEN 60/70 asphalt mixtures modified with recycled metal fibers from end-of-life tires, in order to determine the technical, economic, and environmental effects associated with their application in flexible pavements. The study was conducted using an applied and experimental approach, producing asphalt mixtures with four levels of recycled steel fiber dosage (1%, 2%, 3%, and 4%). To evaluate their characteristics, the standard Marshall, Cantabro, and Lottman tests were applied, following the procedures established by the Test Manual of the Ministry of Transport and Communications (MTC), in addition to the corresponding characterization of the materials used. The optimum percentage of asphalt binder was determined to be 4.9%, which allowed for a balance between cohesion, voids, and stability of the asphalt mixture. The experimental findings showed that the composition with 3% recycled metal fiber performed best, achieving an 83.8% increase in Marshall stability, a 29.8% decrease in flow, and a 32% reduction in Cantabro loss compared to the traditional mixture. Likewise, the Tensile Strength Resistance (TSR) index increased from 73.5% to 88.4%, demonstrating a considerable improvement in durability and resistance to moisture deterioration. From an economic perspective, the addition of fiber generated an initial increase of 1.04% in the unit cost per square meter, although it extended the useful life of the pavement analyzed from 20 to 28 years and reduced maintenance costs by 15.3%, achieving a benefit-cost ratio between 1.12 and 1.28. From an environmental standpoint, the modified mixture reduced CO₂ equivalent emissions by 0.26 tons per 20 m³ produced, in addition to saving more than 4 GJ of energy and recycling approximately 90 tires per road section, contributing to a reduction in emissions of up to 75% compared to the traditional mixture. In summary, the addition of 3% recycled metal fibers to hot asphalt mixtures optimizes their physical and mechanical properties, prolongs their structural durability, and provides economic and environmental advantages, consolidating it as a sustainable and efficient technical alternative for strengthening the national road infrastructure.

Keywords: Recycled tire steel fibers, asphalt mixtures, physical-mechanical properties, pavements.

Introducción

La infraestructura vial se posiciona como el elemento articulador de la economía y la sociedad, siendo un pilar esencial para la conectividad y el desarrollo sostenible. La administración de vastas redes viales, como la de Estados Unidos (que supera los 6.5 millones de kilómetros), refleja la priorización de la gestión del pavimento como una necesidad nacional e internacional [1]. De igual manera, India con aproximadamente 6.37 millones de kilómetros, China con más de 5.2 millones, y Brasil con cerca de 2 millones, se destacan entre las naciones con mayores extensiones viales del planeta [2]. Estos sistemas de transporte masivos impactan directamente en la eficiencia logística, la movilidad urbana y la seguridad pública [3], aspectos que determinan la competitividad de las economías y el bienestar social de sus poblaciones. La inversión multimillonaria en este sector está intrínsecamente ligada al objetivo de garantizar la fluidez vehicular, la accesibilidad vial y la protección de los usuarios [4], [5]. Dentro de este marco, la planificación y la ejecución de obras de mantenimiento y reconstrucción deben realizarse con rigurosidad técnica y una adecuada gestión de los recursos económicos, ya que una administración deficiente puede conducir a un deterioro prematuro del pavimento, generando externalidades negativas, sobrecostos e interrupciones operativas [6], [7].

Dentro del ámbito latinoamericano, y de manera particular en el Perú, la relevancia de la red vial se contrasta con una acentuada brecha de infraestructura. Un porcentaje significativo de la red vial requiere urgentemente procesos de pavimentación o rehabilitación, situación que se agudiza en zonas de geografía compleja como la sierra y la selva, expuestas a condiciones climáticas extremas. El incremento constante de la densidad vehicular en centros urbanos principales (como Chiclayo) y el efecto destructivo de fenómenos recurrentes como El Niño sobre las vías costeras, elevan el deterioro del pavimento a la categoría de desafío ingenieril sistémico. Esta realidad demanda la exploración de soluciones que no solo sean rentables, sino que superen el desempeño mecánico de las mezclas asfálticas tradicionales. Investigaciones recientes ya han abierto el camino hacia la optimización mediante la incorporación de materiales renovables, como la fibra y la cáscara del coco, buscando mejorar las características del asfalto [8]. La eficiencia en el transporte, lograda a través de una infraestructura resiliente, es un factor que contribuye directamente al desarrollo y al bienestar socioeconómico de la comunidad [9].

Frente a la obsolescencia y los desafíos económicos que implican las reparaciones constantes, la ingeniería vial contemporánea está explorando intensamente nuevas avenidas para extender la durabilidad de los pavimentos, adoptando plenamente el enfoque de la economía circular. Una táctica clave consiste en aprovechar y reincorporar materiales residuales en proyectos de construcción. El proceso de reciclaje confiere un nuevo valor a los subproductos y minimiza la dependencia de materias primas vírgenes; la recuperación de neumáticos es un ejemplo paradigmático de esta tendencia [10]. El presente estudio capitaliza esta tendencia, enfocándose en dar una segunda vida útil a las fibras metálicas obtenidas de neumáticos en desuso, utilizándolas como refuerzo para pavimentos flexibles. El acero constituye un elemento intrínsecamente valorado por su potencial para incrementar la capacidad de presión y de tracción dentro de matrices compuestas. Al incorporar estas fibras en mezclas asfálticas en caliente, no solo se busca mejorar significativamente la durabilidad y el desempeño estructural de las vías, sino también mitigar los efectos ambientales derivados de la disposición final de los neumáticos en vertederos. Esta aproximación integra consideraciones ambientales y estructurales cruciales para la sostenibilidad de la infraestructura vial.

La viabilidad y pertinencia de esta investigación se sustenta en su impacto multifacético. Socialmente, al mejorar el estado de las vías, se facilita el transporte seguro y eficiente de la población, optimizando los tiempos de viaje y elevando los índices de seguridad vial. Económicamente, la utilización de materiales reciclados, como las fibras de acero, promete reducir los gastos iniciales de elaboración de la mezcla asfáltica y disminuir la dependencia de insumos nuevos. Ambientalmente, la reutilización de neumáticos viejos aborda activamente la creciente problemática de la acumulación de desechos sólidos urbanos, conservando recursos naturales. Técnicamente, el estudio tiene el potencial de generar conocimiento innovador al validar la incorporación de fibras metálicas recicladas dentro del asfalto a caliente. Finalmente, la factibilidad del proyecto reside en la alta disponibilidad de neumáticos desechados y la urgencia de mejorar la infraestructura vial en Chiclayo, donde las condiciones del clima y geográficas resultan propicias para evaluar el comportamiento en servicio de los pavimentos modificados.

En síntesis, este trabajo de investigación no solo aborda una temática crítica de infraestructura, sino que propone una alternativa técnica sostenible y económicamente viable. Los hallazgos esperados buscan elevar significativamente la calidad de las vías en Chiclayo y, con el tiempo, en otras regiones del país, promoviendo un crecimiento urbano más resiliente.

Debido a todo lo anterior, en esta investigación la pregunta que nos hacemos es la siguiente: ¿De qué forma beneficia la inclusión de fibras de acero de neumáticos reciclados en el asfalto en caliente?

Por todo esto, planteamos la siguiente hipótesis: al añadir las fibras de acero de neumáticos reciclados, se mejorarán las características físicas y mecánicas de los asfaltos en caliente, lo que permitirá que los pavimentos flexibles sean más duraderos y resistentes.

Así mismo, el objetivo principal de este estudio es evaluar el comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas PEN 60/70 en caliente con adición de fibra de acero de neumático reciclado. Con el propósito de cumplir dicho objetivo fundamental, se establecieron cinco objetivos específicos que guiarán la investigación: Caracterizar las propiedades físicas de los materiales compuestos por agregado fino/grueso y fibra de acero de neumático reciclado; Determinar el diseño óptimo de mezcla patrón y la modificada con fibra de acero de neumático reciclado en sus diferentes porcentajes; Evaluar las propiedades mecánicas de la muestra patrón y las muestras con la incorporación de fibra de acero de neumático reciclado; Analizar del costo-beneficio de fibra de neumático reciclado en asfalto en caliente y la mezcla tradicional; Evaluar ambientalmente la incorporación de fibra de acero de neumático reciclado frente a la mezcla asfáltica tradicional.

Revisión de literatura

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Terán Molina [11], en su trabajo de investigación titulado "Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados de mina Cashapampa con metodología Marshall", tuvo como objetivo principal definir la proporción ideal entre los agregados y el ligante asfáltico para lograr una formulación adecuada de las mezclas asfálticas en caliente. Estas formulaciones se usarían luego en pavimentos. Su trabajo incluyó un análisis exploratorio descriptivo, basado en métodos de investigación y observación. Asimismo, obtuvo como resultado que el procesamiento al triturar produce dos tipos de agregados. Utilizando el método de Marshall, se logra la fórmula con una proporción adecuada para el asfalto, siendo un 5.63% de asfalto, con un 33.03% de material grueso y un 61.34% de material fino. Por lo tanto, se concluye que los agregados de la mina Cashapampa son viables para este propósito y, al combinarlos con cemento asfáltico en

las proporciones adecuadas (33.03% de material grueso, 61.34% de material fino y 5.63% de asfalto AC-20), es posible obtener una fórmula maestra que garantiza las propiedades deseables en el asfalto. Así mismo, el autor subraya que las fallas en los pavimentos a menudo se deben a deficiencias en el diseño estructural y la elección de los materiales, destacando la importancia de esta metodología para evitar problemas en las carreteras.

Robayo y Almeida [12], en su investigación titulada "Hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil", se propuso como meta principal elaborar una mezcla de hormigón que, al incorporar fibras metálicas y caucho reutilizado, contribuyera a la reducción del impacto ambiental del ámbito constructivo. El estudio se llevó a cabo bajo un enfoque de tipo cuantitativo con diseño experimental, donde se compararon hormigones modificados en dosificaciones del 5 %, 10 % y 20 % con un hormigón tradicional ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$). Los principales hallazgos demostraron que la adición más efectiva se encuentra entre el 5 % y el 10 %, siendo la del 5 % la que arrojó la mayor resistencia a la compresión. Los investigadores determinaron que el uso de estos materiales reciclados es viable y mantiene propiedades similares al hormigón convencional, ya que la adición del 5 % de fibra metálica y caucho reutilizado incrementó la capacidad de compresión hasta 218.83 kg/cm^2 a los 28 días, superando en 4.49 kg/cm^2 la resistencia del hormigón simple (214.34 kg/cm^2).

Robayo [13], en su artículo "Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones", busca analizar de manera comparativa el concreto tradicional frente al concreto modificado mediante la adición de fibra metálica y caucho reutilizado, considerando distintas proporciones, a través de una investigación de carácter cuantitativo y con un enfoque experimental. En la cual se utilizaron los métodos inductivos, deductivo y de análisis estadístico. Con el fin de obtener los resultados, los ensayos fueron procesados y evaluados mediante técnicas de ensayos en laboratorio y pruebas experimentales. Como resultado, obtuvo que, al incorporar fibras metálicas y caucho reutilizado, se obtiene características mecánicas equiparables al concreto convencional, a partir de lo cual estableció que la dosificación más efectiva de estos aditivos oscila en un rango del 5 % al 10 %. Finalmente, la conclusión principal del autor sostiene que el uso de estas fibras recicladas potencia las propiedades mecánicas del material, demostrando que su resistencia es equiparable al

diseño original en el rango óptimo, e incluso logra aligerar la mezcla en un 3 % en comparación con la formulación tradicional.

La World Steel Association (worldsteel) [14], en su documento titulado “Scrap use in the steel industry”, tuvo como objetivo principal analizar el papel del aprovechamiento de chatarra en la fabricación mundial de acero y su impacto en la disminución de emisiones de CO₂ y consumo de materias primas, dentro del marco de una economía circular. La metodología se sustentó en un enfoque descriptivo y cuantitativo, de tipo aplicado, sustentado en datos provenientes del análisis del ciclo de vida (Life Cycle Inventory – LCI) del acero, con el fin de comparar la producción primaria frente a la secundaria mediante el reciclaje de chatarra. Los resultados mostraron que por cada tonelada de material recuperado utilizada en la fabricación del acero se evita la emisión aproximada de 1.5 toneladas de CO₂, además de ahorrar 1.4 toneladas de mineral de hierro, 740 kg de carbón y 120 kg de piedra caliza, demostrando que el reciclaje del acero constituye la actividad de recuperación de metales más grande del mundo, con un consumo anual de 650 millones de toneladas de chatarra. El autor concluyó que el reciclaje del acero no solo mitiga las emisiones globales de gases de efecto invernadero en 975 millones de toneladas de CO₂ anuales, sino que también optimiza el uso energético, posicionándose como una estrategia esencial para la transición hacia una industria siderúrgica de bajas emisiones y sostenible a largo plazo.

Dong, Y., Ng, R. S. K., Tan, Q., y Song, B. [15], en su estudio titulado “Life Cycle Assessment of Vehicle Tires: A Systematic Review”, plantearon como objetivo principal recopilar y analizar de manera crítica los estudios de análisis del ciclo de vida (LCA) aplicados a neumáticos para vehículos, con el propósito de identificar los impactos ambientales presentes en cada fase del proceso —producción, uso y disposición final— y determinar estrategias de mitigación basadas en la valorización de materiales. La metodología adoptó un enfoque cualitativo y cuantitativo, de tipo revisión sistemática, donde se examinaron diversas investigaciones de LCA publicadas entre 2000 y 2020, abarcando diferentes contextos geográficos y tecnológicos. Los resultados indicaron que un neumático promedio genera aproximadamente 0.35 toneladas de CO₂ equivalente durante todo su ciclo de vida, siendo la fase de uso la que más contribuye al impacto total. Asimismo, se identificó que el componente metálico del neumático representa entre 10 % y 15 % de su peso total, lo que evidencia un alto potencial de recuperación y reciclaje

del acero. Los autores concluyeron que la implementación de estrategias de reciclaje y valorización de materiales, especialmente del acero y caucho, puede reducir las emisiones globales de CO₂ hasta en un 20 % por neumático, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad ambiental del sector automotriz.

EuRIC AISBL [16], en su investigación titulada “Recycling: Bridging Circular Economy & Climate Policy”, planteó como finalidad principal analizar el impacto ambiental y económico del reciclaje de metales en la Unión Europea, destacando su contribución a la economía circular y la mitigación del calentamiento global. La metodología empleada presentó un enfoque descriptivo y cuantitativo, de tipo aplicado, basada en el estudio de los flujos de materiales, consumo energético y emisiones asociadas a los procesos de reciclaje de acero, aluminio y cobre. Los resultados indicaron que el uso de chatarra de acero en la producción reduce las emisiones de CO₂ en un 58 % y ahorra un 72 % de la energía demandada en la producción primaria, mientras que la reutilización de aluminio disminuye las emisiones en un 92 % y el consumo energético en un 95 %, y el del cobre reduce la energía requerida en un 85 %. El autor concluyó que el reciclaje de metales en la Unión Europea permite evitar anualmente la liberación aproximada de 157 millones de toneladas de CO₂, cantidad equivalente a las emisiones generadas por todos los automóviles en Francia, Reino Unido y Bélgica juntos, confirmando así que el reciclaje metálico es una estrategia esencial para avanzar hacia un modelo de economía baja en carbono y ambientalmente sostenible.

Wu, L., Feng, C., Qiu, J., Wang, L., Peng, Y. y Liu, J. [17], en su estudio titulado “Influence of Recycled Tire Steel Fibers on the Mechanical Properties and Carbon Emissions of High-Performance Cement-Based Materials”, plantearon como objetivo principal analizar el efecto del uso de fibras metálicas recicladas provenientes de llantas sobre las propiedades mecánicas y en las emisiones de carbono de materiales cementicios de alto desempeño, evaluando su potencial como sustituto sostenible de las fibras industriales (ISF). El método empleado respondió a un enfoque experimental y cuantitativo, de carácter aplicado, en el que se elaboraron y ensayaron muestras de concreto de ultra alto desempeño (UHPC) y concreto infiltrado con lechada y fibras (SIFCON), comparando la resistencia a compresión, tracción y la huella de carbono mediante el método de análisis del ciclo de vida (LCA). Los hallazgos demostraron que el uso de RSF incrementó la resistencia a compresión en más del 35 % respecto al UHPC

convencional y elevó la resistencia a tracción en aproximadamente 60 %, manteniendo un comportamiento flexible y una notable capacidad de disipación de energía. Además, la evaluación del ciclo de vida evidenció que las RSF reducen la huella de carbono en un 65.9 % en comparación con las ISF, logrando una menor relación carbono/resistencia y un desempeño estructural más sostenible. Los autores concluyeron que el empleo de fibras metálicas recicladas permite disminuir las emisiones totales de CO₂ hasta en un 66 %, sin comprometer las cualidades mecánicas del compuesto, consolidando a las RSF como una alternativa ecológica, eficiente y viable para la producción de concretos de alto rendimiento.

Roshan, N. y Ghalehnovi, M. [18], en su estudio titulado “The effect of recycled-tire steel fiber and engineered steel fiber on rebar corrosion and shear behavior of corroded RC beam”, cuyo propósito principal fue analizar la influencia del uso de fibras de acero recicladas provenientes de neumáticos (RTSF), fibras de acero fabricadas (ESF) y su aplicación conjunta en la capacidad mecánica, el proceso de corrosión del refuerzo metálico y la respuesta cortante de vigas de hormigón armado sometidas a condiciones de corrosión acelerada. El estudio aplicó un enfoque experimental, cuantitativo y de tipo aplicado, utilizando vigas de concreto reforzadas con distintos tipos de fibras, sometidas a ensayos mecánicos y de deterioro por corrosión para determinar su resistencia, deformabilidad y pérdida de masa del acero. Los hallazgos mostraron que la adición de 40 kg/m³ de RTSF incrementó la resistencia a la compresión del concreto en un 37 % y disminuyó la velocidad de corrosión del acero hasta en un 40 % en relación con el concreto tradicional. Los autores concluyeron que la incorporación de RTSF optimizó simultáneamente la capacidad estructural y la durabilidad del material, reduciendo en un 16 % la pérdida de capacidad cortante frente a la corrosión respecto a las vigas con ESF (20 %), lo que demuestra que las fibras recicladas de neumáticos representan una opción sostenible y eficaz para sustituir parcialmente las fibras de acero tradicionales sin afectar el desempeño estructural.

Antecedentes Nacionales

Cuya Pillaca [19], en su investigación "Fibras de acero reciclado de neumáticos y microsílíce en las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, para el uso en pavimento rígido, Av. La Victoria, distrito San Juan Bautista - Ayacucho", desarrollada en el 2022, tuvo como propósito esencial establecer la repercusión de integrar tanto las fibras

metálicas provenientes de llantas recicladas como la microsílíce en las características de un concreto con resistencia $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$, orientado a aplicaciones de pavimento rígido. El trabajo se ejecutó bajo una metodología cuantitativa y aplicada, con un enfoque explicativo. Los hallazgos mostraron que la dosificación optimizada (compuesta por 12 % de fibras metálicas recicladas y 10 % de microsílíce) conservó la trabajabilidad (valor de slump dentro del rango), a la vez que mejoró significativamente el material, logrando una reducción del 22.06 % en la permeabilidad. De manera concluyente, el autor determinó que la incorporación de estos componentes residuales potencia las cualidades mecánicas del concreto, incrementando su resistencia a la compresión en 19.68 % tras 28 días y elevando la capacidad a la tracción hasta un 50.00 %.

Juárez, Sánchez y De La Cruz [20], en su artículo "Utilización de fibras de acero reciclado para mejorar el comportamiento estructural del pavimento rígido", se centró en evaluar la utilidad de las fibras metálicas reciclado con el fin de optimizar el rendimiento estructural de los pavimentos de tipo rígido. Desarrollado mediante una metodología aplicada y un diseño experimental, el trabajo investigativo valoró la inclusión de las fibras metálicas en tres dosificaciones: 2 %, 4 % y 6 %. Los resultados experimentales evidenciaron que la máxima incorporación (6 %) generó un impacto en la trabajabilidad, disminuyendo el slump hasta en 46.49 % respecto al concreto patrón. No obstante, esta misma proporción de fibra fue la más efectiva para la resistencia, ya que incrementó la capacidad de compresión a 253.04 kg/cm^2 a los 28 días, lo cual supuso un incremento del 14.28 %. Como conclusión, los investigadores afirmaron que el empleo de esta fibra mejora sustancialmente las propiedades físico-mecánicas del material cementicio, permitiendo un diseño estructural que considera un espesor de losa de 19.00 cm y una subbase de 20.00 cm, proyectada para una vida útil estimada de 20 años.

Aguilar y Dipaz [21], en su estudio "Efecto de la incorporación de fibras de acero reciclado de neumáticos y microsílíce en el concreto para el uso en pavimento rígido en la Av. Javier Pérez de Cuéllar, Ayacucho, 2021", se propuso determinar la incidencia de la adición de fibras de acero procedente de neumáticos reciclados y microsílíce dentro del concreto, diseñado con una resistencia característica de $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$, con el fin de utilizarlo en pavimentos rígidos. El estudio se ejecutó siguiendo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y cuasiexperimental, buscando demostrar la mejora en las cualidades físico-mecánicas del compuesto. Los resultados obtenidos con la dosificación óptima

(MD9: 12 % FAR + 10 % MS) arrojaron incrementos excepcionales: la resistencia a la compresión ascendió a 610.39 kg/cm² a los 28 días, lo cual supuso un aumento del 170.66 % en relación con el patrón. De igual modo, la resistencia a la tracción se elevó a 44.99 kg/cm² (un 144.63 % más), mientras que la capacidad a la flexión llegó a los 68.49 kg/cm² (equivalente a un 169.38 % más). Los autores concluyeron que el uso de estas fibras optimiza de manera sustancial las propiedades mecánicas del material cementante, permitiendo además una reducción en el espesor de la losa de 29 cm a 19 cm dentro del diseño estructural del pavimento rígido.

Soto Ipanaque [22], en su investigación "Uso de caucho de llantas recicladas en mezclas asfálticas en caliente como adición del cemento asfáltico", tuvo como objetivo primordial establecer la repercusión de integrar caucho de llantas recicladas como adición al cemento asfáltico sobre las propiedades Marshall de las mezclas asfálticas elaboradas en caliente. El estudio se ejecutó bajo un diseño experimental puro de naturaleza cuantitativa, donde se testearon tres dosificaciones del polímero (5 %, 10 % y 15 %) mediante el proceso de vía húmeda. Los resultados indicaron que la inclusión del caucho superó las exigencias normativas de Estabilidad Marshall (MTC, 815 kN); en particular, la mezcla con 5 % del aditivo registró una estabilidad promedio de 1458 kN. Si bien se observó una disminución en la trabajabilidad, y que la dosificación máxima (15 %) comprometió la calidad al exceder el límite establecido para el porcentaje de vacíos, el autor concluyó que el empleo del caucho de llantas recicladas es un método plenamente viable para optimizar el pavimento flexible, dado que la dosis óptima del 5 % logró un incremento en la estabilidad Marshall de hasta 1458 kN, superando en 78.90 % el mínimo requerido por la normativa vigente.

Antecedentes Regionales

Bobadilla, Tesen, Tigre y Muñoz [23], en su artículo científico "Uso de polímeros en asfalto: una revisión", se propuso identificar la incidencia de la adición de polímeros (como el caucho recuperado) en las propiedades de las mezclas asfálticas, incluyendo el tamaño óptimo de la partícula y el porcentaje de adición. El trabajo fue una revisión sistemática de literatura de naturaleza cualitativa y descriptiva, que consolidó los hallazgos de 50 artículos indexados entre 2015 y 2021. Los resultados confirmaron que la inclusión polimérica optimiza el desempeño del asfalto al incrementar su resistencia a la fatiga y reducir las deformaciones permanentes del material. La conclusión central del

estudio reitera que el uso de polímeros es clave para potenciar la resistencia de la capa superficial del pavimento flexible, dado que el consenso científico revela la capacidad que poseen para mejorar la durabilidad frente a la fatiga hasta en un 30 % y reducir la penetración del ligante en hasta un 50 % con relación al asfalto convencional, siendo el rango óptimo de adición del caucho de 15 % a 20 % del peso del ligante.

Nunton Carrasco [24], en su investigación "Análisis del Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Acero de Neumáticos Reciclados", se propuso como objetivo primordial analizar el desempeño mecánico de concretos con resistencias de 210 kg/cm² y 280 kg/cm² mediante la adición de fibras de acero reciclado proveniente de neumáticos (FNR) en proporciones del 5 %, 10 %, 15 % y 20 %. La investigación se ejecutó bajo una metodología de tipo aplicada con un diseño de carácter experimental. Los hallazgos determinaron que, si bien las dosificaciones más altas de FNR reducen el asentamiento, el porcentaje óptimo de 5 % fue el más eficiente, pues afectó mínimamente la consistencia e impulsó el módulo elástico y la capacidad de compresión inicial. El autor concluyó que la utilización de FNR tiene un efecto favorable en las propiedades mecánicas de ambas dosificaciones, destacando que la adición del 5 % logró un incremento significativo en la resistencia a la tracción del material cementicio, con mejoras que oscilaron entre un 10 % y un 35 % en comparación con las muestras patrón.

Chilcon y Ramírez [25], en su estudio sobre la "Elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable para la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque", se centró en desarrollar y someter a prueba una formulación asfáltica en frío de carácter almacenable destinada a la rehabilitación de pavimentos, contrastando su rendimiento con los criterios de estabilidad y fluencia definidos por la normativa del MTC EG-2013. Esta investigación, de carácter cuantitativo y cuasiexperimental, estableció que, tras ser guardada por 28 días en recipientes plásticos, la mezcla logró una Estabilidad Marshall de 537.47 kg. Los autores determinaron que este compuesto es una alternativa eficaz y viable para el mantenimiento de pavimentos flexibles, dado que su estabilidad final de 537.47 kg excedió en 87.47 kg el umbral mínimo de 450 kg exigido para el tránsito medio, validando así su funcionalidad y su capacidad de almacenamiento prolongado.

Encajima Santamaría [26], en su investigación sobre el "Análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto con adición de fibra de alambre reciclado para pavimentos rígidos", planteó como propósito principal evaluar las variaciones en las características físico-mecánicas de un concreto base de 280 kg/cm^2 para pavimentos de tipo rígido mediante la aplicación de fibras de alambre reutilizado en proporciones de 27 kg/m^3 , 30 kg/m^3 y 35 kg/m^3 , ejecutado bajo un esquema experimental con enfoque de tipo cuantitativo. Los hallazgos determinaron que la dosificación de 27 kg/m^3 fue la más efectiva para la resistencia, mientras que la adición de 35 kg/m^3 fue la más eficaz para la durabilidad. El autor concluyó que la inclusión de esta fibra potencia el desempeño del material cementicio destinado a pavimentos rígidos, logrando que la incorporación de 27 kg/m^3 eleve la resistencia a la compresión a 315 kg/cm^2 y la capacidad a la flexión a 47.16 kg/cm^2 , y que la dosis de 35 kg/m^3 redujera la fisuración (agrietamiento) a solo 0.025 mm .

Bases teóricas científicas

Fibras de acero y fibras de neumático reciclado

Fibras de acero

Son pequeños elementos metálicos, considerado elementos de refuerzo utilizados en la construcción de pavimentos para mejorar su resistencia y rendimiento [27].

Fibras de acero de neumáticos reciclados:

Son materiales denominados residuos masivos y desechables que han ido obtenidos al concluir la vida útil de los neumáticos, el acero obtenido de ellos es fácil de reciclar debido que se puede reutilizar como fibras reforzantes, acelerantes, retardantes entre otros [28].

Propiedades de fibra de acero

Control de fisuración: Ayuda a reducir la propagación de fisuras, especialmente en aplicaciones donde se está sujeto a cargas cíclicas o impactos [29].

Resistencia a la flexión: Ayuda al control las fisuras en lo que aumenta su capacidad de carga y la durabilidad [29].

Reducción de la formación de grietas por contracción: Se realiza al momento del fraguado y endurecimiento [29].

Tipos de fibra según su forma

Según su forma se dividen en:

Las esquinas en forma gancho: Son fibras que los extremos tienen forma de gancho, proporcionando un mayor anclaje y resistencia a la tracción en el material logrando una mayor carga [30].

Rectas: Son fibras de acero que son lisas y rectas, mayormente en forma de alambre, como son lisas logra una distribución de tensiones más uniformes [30].

Onduladas: Son fibras que su estructura es en zigzag, donde aumenta la adherencia entre a la fibra [30].

Asfalto

Es considerado un material viscoso que se utiliza en la construcción de pavimentos, carreteras, calles, entre otras aplicaciones. Obtenido a partir del proceso de destilación del crudo petrolero, está compuesto principalmente por betún [31].

Propiedades físicas del asfalto

Durabilidad: Se trata de un material que mantiene su estabilidad a lo largo del tiempo, ya que debe resistir cargas de tráfico intensas y variaciones climáticas constantes [32].

Impermeabilidad: es resistente al paso del agua y/o humedad, ayuda a prevenir la penetración del agua en la pavimentación [32].

Flexibilidad: Debido a que está en constante adaptación de los movimientos el suelo y cargas de tráfico [32].

Adhesión y cohesión: Tiene una buena capacidad de adherencia para que pueda juntarse con los agregados y a la superficie subyacente [32].

Clasificación de los asfaltos para pavimentación

Cementos asfálticos: se obtienen mediante la destilación del petróleo, proceso que permite retirar los componentes volátiles [32].

Emulsiones asfálticas: son sustancias líquidas de carácter estable formadas por agua en su fase continua [31].

Asfaltos rebajados: conocidos también como asfaltos diluidos permite una aplicación más sencilla en condiciones específicas, como en climas fríos o para ciertos trabajos de mantenimiento vial [32].

Asfalto en caliente: Es una combinación asfáltica elaborada a altas temperaturas, que oscilan entre los 150° y 180°, donde se incorporan grava, arena y piedra triturada utilizada en proyectos de construcción y mantenimiento de carreteras, calles y otras superficies de pavimento [32].

Pavimentos

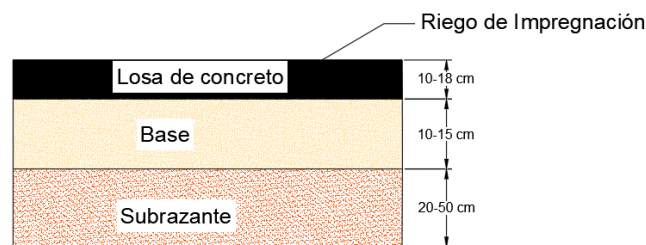
Son superficies construidas con uno o varios materiales dispuestos sobre un suelo natural con el propósito de incrementar su capacidad portante y permitir la circulación de vehículos y/o peatones[31].

Tipo de pavimentos:

Pavimento flexible o asfálticos: Se caracteriza por soportar cargas bajas la presión de tráfico su construcción implica la trituración de pequeñas piezas de piedra, suelen ser adecuados para terrenos con suelos menos estables y con gran volumen de tráfico [31].

Pavimento rígido o de concreto: Se caracteriza por la capacidad de distribuir las cargas a lo largo de toda la losa de concreto, es de notoria rigidez ideal para tráfico pesado [31].

Fig.1. Componentes de pavimento rígido.



Fuente: Propia.

Pavimento articulado: Está formado por una capa de rodadura de adoquines de espesor uniforme, se emplea en andenes, aeropuertos con el fin de prevenir la formación de grietas [31].

Pavimentos semirrígidos: Involucra la instalación de placas de cementos sobre la que se aplica una capa asfáltica, utilizada en carreteras de alto tráfico o en áreas de condiciones cambiantes [31].

Fallas de pavimentos:

Fallas en pavimentos flexibles: existen dos tipos de fallas, estructurales y funcionales; la primera se origina por el deterioro del pavimento, lo que provoca una pérdida de cohesión en las capas [31].

Agrietamiento por fatiga: también puede denominarse “piel de cocodrilo”, y corresponde a grietas interconectadas con forma de polígonos irregulares de hasta 0.5 m de longitud en su eje mayor; se origina porque los niveles de esfuerzo y las deformaciones unitarias de tracción resultan elevados, indicando la pérdida de la capacidad estructural del pavimento [31].

Exudación: ocurre cuando el material bituminoso se extiende sobre la superficie del pavimento, generando un acabado lustroso, deslizante y pegajoso [31].

Fisuras en bloque: Son grietas interconectadas que forman piezas de 0.30×0.30 hasta 3.00×3.00 metros aproximadamente; ocurren en zonas sin tránsito debido a la retracción del concreto asfáltico [31].

Abultamiento y hundimiento: consisten en deformaciones leves que se elevan o descienden respecto a la superficie del pavimento, ocasionadas por el levantamiento de las losas de concreto o por la expansión provocada por congelamiento.[31].

Ensayos de los agregados

Se debe tener en cuenta los requisitos para los agregados que nos brinda el MTC:

TABLA I
Requisitos para los agregados gruesos [33]

| Ensayos | Norma | Requisitos | |
|--------------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| | | Altitud (msnm) | |
| | | ≤ 3.000 | > 3.000 |
| Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) | MTC E 209 | 18% máx. | 15% máx. |
| Abrasión Los Ángeles | MTC E 207 | 40% máx. | 35% máx. |
| Adherencia | MTC E 517 | +95 | +95 |
| Índice de Durabilidad | MTC E 214 | 35% mín. | 35% mín. |
| Partículas chatas y alargadas | ASTM 4791 | 10% máx. | 10% máx. |
| Caras fracturadas | MTC E 210 | 85/50 | 90/70 |
| Sales Solubles Totales | MTC E 219 | 0,5% máx. | 0,5% máx. |
| Absorción | MTC E 206 | 1,0% máx. | 1,0% máx. |

Fuente: MTC (EG, 2013).

TABLA II
Requisitos para los agregados finos [33]

| Ensayos | Norma | Requisitos | |
|--------------------------------------|--------------|----------------|------------|
| | | Altitud (msnm) | |
| | | ≤ 3.000 | > 3.000 |
| Equivalente de Arena | MTC E 114 | 60 | 30 |
| Angularidad del agregado fino | MTC E 222 | 30 | 40 |
| Azul de metileno | AASTHO TP 57 | 8 máx. | 8 máx. |
| Índice de Plasticidad (malla N° 40) | MTC E 111 | NP | NP |
| Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) | MTC E 209 | — | 18 máx. |
| Índice de Durabilidad | MTC E 214 | 35 min | 35 min |
| Índice de Plasticidad (malla N° 200) | MTC E 111 | 4 máx. | NP |
| Sales Solubles Totales | MTC E 2019 | 0,5 % máx. | 0,5 % máx. |
| Absorción | MTC E 205 | 0,5 % máx. | 0,5 % máx. |

Fuente: MTC (EG, 2013).

Ensayo de granulometría: El ensayo está regulado por la normativa NTP - 400.012 / MTC E-204. Esta normativa especifica que los materiales y equipos necesarios para realizar el ensayo incluyen una balanza, tamices, agregados y una estufa. clasificar y pesar agregados gruesos y finos en un ensayo. El procedimiento para realizar este ensayo se seleccionan tamices específicos para el agregado grueso (con tamaños de 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", y #4) y para el agregado fino (con tamaños N°4, N°8, N°30, N°50, N°100, y N°200) [34].

TABLA III
Gradación para mezcla asfáltica en caliente [33]

| Tamiz | Porcentaje que pasa | | |
|---------------|---------------------|---------|---------|
| | MAC - 1 | MAC - 2 | MAC - 3 |
| 25 mm (1") | 100 | - | - |
| 19 mm (¾") | 80-100 | 100 | - |
| 12,5 mm (½") | 67-85 | 80-100 | - |
| 9,5 mm (3/8") | 60-77 | 70-88 | 100 |
| 4,75 mm (N°4) | 43-54 | 51-68 | 65-87 |
| 2 mm (N°10) | 29-45 | 38-52 | 43-61 |
| 425 µm (N°40) | 14-25 | 17-28 | 16-29 |
| 180 µm (N°80) | 8-17 | 8-17 | 9-19 |
| 75 µm (N°200) | 4-8 | 4-8 | 5-10 |

Fuente: MTC (EG, 2013).

Ensayo de peso específico y absorción A.F: Este procedimiento se realiza conforme a la normativa MTC-E 205. Para su ejecución, es necesario contar con ciertos materiales específicos: una balanza para determinar el peso, un frasco volumétrico con capacidad de 500 cm³, una varilla metálica para compactar los materiales y un molde cónico. Estos instrumentos son fundamentales para garantizar que el ensayo se lleve a cabo de manera adecuada y en cumplimiento con las normas establecidas[34].

El procedimiento consiste en colocar una porción de 500 g de muestra en un recipiente volumétrico. Posteriormente, se llena el recipiente con agua hasta completar un volumen total de 500 cm³. A continuación, se eliminan las burbujas de aire que pudieran encontrarse en la mezcla. Después de este paso, se determina la masa conjunta del recipiente, el líquido y la muestra [34].

Para los cálculos necesarios, se usarán las siguientes fórmulas:

Ecuación 1. Peso específico de masa [34].

$$Pe_m = \frac{W_0}{(V - V_a)} * 100$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa.

W_0 = Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g)

V = Volumen del frasco en cm³

V_a = Peso en gramos o volumen en cm³ de agua añadida al frasco.

Ecuación 2. Peso específico de masa saturado con superficie seca [34].

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} * 100$$

Ecuación 3. Peso específico aparente [34].

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} * 100$$

Ecuación 4. Absorción [34].

$$Pe_a = \frac{500 - W_0}{W_0} * 100$$

Ensayo de peso específico y absorción A.G: Este procedimiento se ejecuta siguiendo las normativas NTP 400.021 y MTC E 206. Se requiere un recipiente con agua para las pruebas de inmersión, tamices destinados a clasificar las partículas y una estufa para el secado del material. Estos elementos son indispensables para garantizar el cumplimiento de los criterios establecidos en las normativas mencionadas y asegurar la exactitud del ensayo. [34].

Ecuación 5. Peso específico de masa [34].

$$Pe_m = \frac{A}{(B - C)} * 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos.

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

Ecuación 6. Peso específico de masa saturada con superficie seca [34].

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B - C)} * 100$$

Ecuación 7. Peso específico aparente [34].

$$Pe_a = \frac{A}{(A - C)} * 100$$

Ecuación 8. Absorción [34].

$$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Ensayo peso unitario y vacíos: Para realizar este ensayo se debe seguir la normativa NTP 400.017. Los instrumentos y materiales requeridos para efectuar el ensayo incluyen una balanza para determinar el peso, un recipiente para contener la muestra, una plancha de vidrio de 5 pulgadas, una varilla compactadora de acero y una pala manual. Estos elementos son fundamentales para ejecutar el procedimiento conforme a los lineamientos establecidos en la normativa [34].

Ecuación 9. Peso unitario compactado o suelto [34].

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m³ (lb/pie³)

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)

T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)

V = Volumen del recipiente de medida en m³ (pie³)

Ensayo contenido de humedad: El ensayo se realiza de acuerdo con las normativas NTP 339.185, ASTM C-566 y MTC E 215. Estos elementos son necesarios para cumplir con los procedimientos establecidos por las normativas y garantizar la precisión del ensayo [34].

El procedimiento inicia con la selección y el pesado de la muestra. Posteriormente, la muestra es colocada en un horno con el fin de secarla completamente. Una vez que la muestra ha sido deshidratada, se procede a pesarla nuevamente. Este proceso permite determinar la pérdida de masa generada por la eliminación del agua, lo cual resulta fundamental para calcular la humedad inicial y el contenido seco del material. [34].

Ecuación 10. Contenido de humedad total evaporable [34].

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje.

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos.

D = Masa de la muestra seca en gramo.

Ensayo de partículas fracturadas: El método se basa bajo la normativa MTC E 210 la cual tiene como finalidad medir la proporción de partículas fracturadas dentro de una muestra de agregado grueso. Se refiere a aquellas partículas del agregado grueso que han sido fracturadas de manera intencional o natural, y que deben cumplir con los estándares o especificaciones establecidos. El porcentaje de estas partículas fracturadas se puede determinar en masa (como fracción del peso total de la muestra) o en cantidad (como número de partículas fracturadas por unidad de masa). Proporciona una manera de cuantificar y evaluar la presencia y la calidad de partículas fracturadas dentro de muestras de agregado grueso, asegurando que cumplan con los criterios específicos requeridos para su uso en aplicaciones de construcción [34].

Ecuación 11. Porcentaje de masa de partículas con el número especificado de caras fracturadas con aproximación al 1%[34].

$$P = \frac{F}{(F + N)} * 100$$

Donde:

P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.

F = masa o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas.

N = masa o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas o que no entran en el criterio de partícula fracturada.

Ensayo de partículas chatas alargadas: Este procedimiento se realiza conforme a la norma MTC E 223, y permite determinar la proporción de granos alargados y planos presentes en el agregado grueso. Asimismo, tiene como propósito identificar si dichas partículas interfieren en la compactación o dificultan la correcta colocación del material[34].

Este procedimiento no solo evalúa el cumplimiento de las especificaciones referidas a la morfología del agregado grueso, sino que además aporta información relevante sobre su forma característica [34].

Ecuación 12. Porcentaje de partículas chatas y alargadas [34].

$$\% \text{ Chatas y alargadas} = \frac{(\text{Peso de partículas chatas y alargadas})}{(\text{Peso total de la muestra de esa fracción})} \times 100$$

Ensayo equivalente de arena: Este se encuentra regulado por la norma MTC E 114 y se aplica para determinar el Equivalente de Arena (EA). Este valor constituye un parámetro fundamental para evaluar la limpieza de los suelos y agregados finos. Este procedimiento permite identificar la presencia de arcillas o limos plásticos que puedan afectar el desempeño del material. El cálculo se obtiene a partir de la proporción entre la altura que alcanzan las partículas arenosas sedimentadas y la altura total de la suspensión dentro del cilindro. Esta prueba resulta esencial, pues permite determinar si el material es adecuado para su uso en bases o subbases de pavimentos, así como en mezclas de concreto y asfalto. Un VEA elevado es siempre deseable, ya que representa un material de mayor calidad y, por ende, un mejor rendimiento dentro del proyecto [34].

Ecuación 13. Equivalente de arena (EA) [34].

$$EA = \frac{h1}{h2} \times 100$$

Donde:

EA = Equivalente de arena

h1 = Lectura de arena

h2 = Lectura de arcilla

Ensayo límite plástico e índice de plasticidad: Está regulado por la norma MTC E 111, y se emplea para determinar el Límite Plástico (L.P.) del suelo, entendido como el contenido de humedad en el cual el material deja de ser moldeable (plástico) y comienza a desintegrarse al intentar formar cilindros de 3 mm de diámetro. Este L.P., junto con el Límite Líquido (L.L.), es fundamental para clasificar los suelos finos y prever su comportamiento ante cargas en obras como cimentaciones o carreteras. Para determinarlo, se prepara una muestra, se amasa y se mide su humedad en el momento en que los cilindros elaborados empiezan a agrietarse. Finalmente, la diferencia entre el L.L. y el L.P. corresponde al Índice de Plasticidad (I.P.), parámetro que expresa el intervalo de humedad dentro del cual el suelo conserva sus propiedades plásticas [34].

Ecuación 14. Límite plástico [34].

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} * 100$$

Ecuación 15. Índice de plasticidad [34].

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Límite líquido (Número entero)

L.P. = Límite plástico (Número entero)

Ensayo peso específico de mezclas asfálticas: Corresponde a un procedimiento establecido por la norma MTC E 514, mediante el cual se determina la densidad aparente y el peso unitario de las mezclas asfálticas compactadas. Este ensayo permite medir la masa de una muestra de asfalto en diferentes condiciones (seca, sumergida y saturada superficialmente seca), lo que posibilita calcular su densidad. Dicho valor permite comprobar que el grado de compactación del asfalto sea el adecuado, garantizando así su durabilidad, resistencia frente a deformaciones y desempeño a largo plazo [34].

Ecuación 16. Peso específico aparente [34].

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(B - C)}$$

Donde:

A = Peso del espécimen seco en el aire, g.

B-C = Peso del volumen de agua correspondiente al volumen del espécimen a 25 °C.

B = Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca, g.

C = Peso del espécimen en agua, g.

Ensayo resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los Ángeles: Este se encuentra bajo la normativa MTC E 207, la cual se utiliza para medir la durabilidad frente al desgaste de los agregados gruesos empleando el método de abrasión Los Ángeles. Este procedimiento consiste en someter el material a impactos y fricción dentro de un tambor giratorio que contiene esferas de acero. El ensayo se aplica a agregados con tamaños menores a 37,5 mm (1 ½”) y resulta fundamental para evaluar su desempeño ante cargas repetitivas, como las generadas por el tránsito vehicular en pavimentos. En el caso de la gradación Tipo B, se utiliza una distribución granulométrica específica definida por la norma, que garantiza una combinación representativa de tamaños para simular condiciones reales de desgaste. El procedimiento consiste en introducir el agregado junto con una cantidad determinada de bolas metálicas en la máquina, hacerla girar durante un número específico de revoluciones (por lo general 500) y, posteriormente, recuperar el material para su tamizado. La pérdida de masa del agregado, expresada como porcentaje respecto al peso inicial, determina el grado de abrasión: cuanto menor sea dicho valor, mayor será la resistencia del material. Este ensayo es esencial para seleccionar materiales resistentes y apropiados en la

conformación de capas estructurales de pavimentos y otras intervenciones de infraestructura.

Ecuación 17. Fórmula del ensayo de resistencia al desgaste [34].

$$\text{Desgaste (\%)} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Donde:

Pi: Peso inicial del agregado seco (antes del ensayo)

Pf: Peso del agregado retenido sobre el tamiz N°12 (después del ensayo)

*TABLA IV
Gradación para muestras de ensayo [34]*

| Medida del tamiz (abertura cuadrada) | | Masa de tamaño indicado, g | | | |
|--------------------------------------|----------------|----------------------------|------------|------------|------------|
| Que pasa | Retenido sobre | Gradación | | | |
| | | A | B | C | D |
| 37.5 mm (1 1/2") | 25 mm (1") | 1 250 ± 25 | . _____ | . _____ | . _____ |
| 25 mm (1") | 19 mm (3/4") | 1 250 ± 25 | . _____ | . _____ | . _____ |
| 19 mm (3/4") | 12.5 mm (1/2") | 1 250 ± 10 | 1 250 ± 10 | . _____ | . _____ |
| 12.5 mm (1/2") | 9.5 mm (3/8") | 1 250 ± 10 | 1 250 ± 10 | . _____ | . _____ |
| 9.5 mm (3/8") | 6.3 mm (1/4") | . _____ | . _____ | 2 500 ± 10 | . _____ |
| 6.3 mm (1/4") | 4.75 mm (N°4) | . _____ | . _____ | 2 500 ± 10 | . _____ |
| 4.75 mm (N°4) | 2.36 mm (N°8) | . _____ | . _____ | . _____ | 5 000 |
| <i>Total</i> | | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 |

Fuente: MTC (EG, 2013).

Ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos flexibles: Este procedimiento se encuentra regulado por la norma MTC E 219 y tiene como finalidad determinar la cantidad y presencia de compuestos solubles en los agregados destinados a mezclas asfálticas flexibles. Este análisis es fundamental, ya que dichas sales —como sulfatos y cloruros— resultan perjudiciales para la durabilidad, al provocar reacciones químicas no deseadas, disminuir la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado y reducir considerablemente la vida de servicio del pavimento. El ensayo se basa en disolver las sales presentes en el agregado con agua destilada mediante agitación, para luego cuantificarlas (por gravimetría o conductimetría), expresando el resultado como un porcentaje respecto al peso seco del material analizado. Un elevado contenido de sales solubles indica que el agregado no es adecuado, ya que estas impurezas aceleran el deterioro por humedad. Por ello, la MTC E 219 constituye una metodología esencial de verificación de calidad destinada a garantizar la estabilidad química de los agregados y la durabilidad de las vías. [34].

Ecuación 18. % de sales solubles [34].

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

Donde:

A: Masa de la muestra seca original, en gramos (secada a 110 ± 5 °C hasta masa constante).

B: Volumen final del líquido sobrenadante recolectado (después de reunir todos los lavados), en mililitros.

C: Volumen de la alícuota extraída para evaporación, en mililitros (entre 50 y 100 ml).

D: Masa de las sales recuperadas tras evaporar la alícuota y secar el residuo, en gramos.

Ensayo de azul de metileno: Este se encuentra regulado por la normativa ASSHTO 57 y se utiliza para cuantificar la proporción de partículas finas activas, especialmente arcillosas, presentes en agregados finos o en el material retenido por el tamiz N.º 200. Estas fracciones pueden afectar la calidad de las mezclas asfálticas o cementicias al modificar la adherencia entre sus componentes. El procedimiento consiste en mezclar una porción del agregado con una disolución de azul de metileno, agitándola gradualmente e incorporando el colorante en pequeñas cantidades. Se efectúan pruebas puntuales colocando una gota de la suspensión sobre un papel filtrante. Cuando aparece una aureola azul alrededor de la gota, se determina que se ha alcanzado el punto de saturación. El resultado se expresa como el volumen total del colorante utilizado dividido entre la masa seca de la muestra, lo que arroja el valor de azul de metileno (MBV). Valores bajos indican que el agregado contiene escasas impurezas finas, mientras que valores altos evidencian la presencia de arcillas que pueden afectar la estabilidad y durabilidad del material en estructuras de pavimento o concreto. [35].

Ecuación 19. Azul de Metileno [35].

$$AM = \frac{C.sol}{P.finos}$$

Donde:

AM: Azul de metileno

C.sol: Concentración de solución

P. finos: Peso de finos

Ensayo de durabilidad de sulfato de magnesio: Este se encuentra bajo la normativa MTC E 209 y se aplica para evaluar la capacidad de los agregados frente al deterioro ocasionado por la exposición a sales solubles, en particular sulfato de sodio (Na_2SO_4) y sulfato de magnesio (MgSO_4). Este procedimiento permite estimar el desempeño de los agregados cuando se someten a sucesivos ciclos de humedecimiento y secado en presencia de dichas sales, reproduciendo condiciones de ambientes agresivos donde puede existir infiltración de agua salina o exposición a variaciones climáticas severas.

El método consiste en someter una porción de agregado previamente deshidratado a ciclos alternados de inmersión en una disolución de sulfato y posterior secado en estufa. Tras completar un número establecido de ciclos (generalmente cinco), el material se enjuaga y seca nuevamente, y se compara el peso del agregado retenido en ciertos tamices antes y después del procedimiento. El porcentaje de pérdida de peso refleja el grado de desintegración experimentado por el agregado [34].

Ecuación 20. Azul de Metileno [35].

$$\text{Pérdida (\%)} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Donde:

Pi: Masa inicial del agregado seco, antes del ensayo.

Pf: Masa del agregado retenido en el mismo tamiz, luego de completar los ciclos de exposición y lavado.

Propiedades mecánicas de mezclas asfálticas

Ensayo Marshall: El ensayo está regulado por la normativa MTC E 504, este ensayo evalúa la resistencia y estabilidad de la mezcla bituminosa diseñadas para pavimentos flexibles. Además, este ensayo permite calcular parámetros volumétricos esenciales como los vacíos en la mezcla total (VMT), vacíos en el agregado mineral (VAM) y VACIOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)I .[34]

Ecuación 21. Vacíos en la Mezcla Total (VMT) [35].

$$VMT = \left(1 - \frac{\text{Densidad Bulk de la Mezcla}}{\text{Maxíma Densidad Teórica}} \right) \times 100$$

Ecuación 22. Vacíos en el agregado mineral (VAM) [35].

$$VAM = \left(\frac{\text{Masa de agregado}}{\text{Gravedad específica aparente del agregado}} \right) \times \frac{100}{\text{Vol. total de mezcla}}$$

Otra forma de calcular también es:

$$VAM = VTM + VFA$$

Ecuación 23. Vacíos llenos de asfalto (VFA) [35].

$$VFA = \left(\frac{VAM - VMT}{VAM} \right) \times 100$$

Donde:

VFA: Vacíos llenos de asfalto

VAM: Vacíos en el agregado mineral

VMT: Vacíos en la mezcla total

Ensayo Cantabro: Este se realiza conforme a las normativas MTC E 515, y su propósito es determinar la capacidad de las mezclas asfálticas para resistir el desgaste. Esta prueba resulta fundamental para analizar la durabilidad y la aptitud de resistencia al tránsito en los pavimentos elaborados con este tipo de mezclas. En este procedimiento se utiliza la máquina de Los Ángeles, un dispositivo compuesto por un tambor giratorio. Dentro del tambor se introducen muestras del material junto con esferas de acero, que reproducen los efectos de impacto y fricción a los que los agregados se ven sometidos en condiciones reales. Las muestras se exponen a un número determinado de revoluciones y, una vez finalizado el ciclo, son extraídas, limpiadas y pesadas para calcular la pérdida de masa ocasionada por la abrasión. Los resultados de este ensayo proporcionan información esencial sobre la resistencia al desgaste del material, lo que permite evaluar y optimizar la durabilidad del pavimento[34].

Ecuación 24. Cántabro [35].

$$P = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %

P1 = Masa inicial de la probeta, en gramos.

P2 = Masa final de la probeta, en gramos.

Ensayo Lottman: Este ensayo se ejecuta de acuerdo con la normativa ASTM D 4867 y tiene como propósito evaluar la susceptibilidad de la mezcla asfáltica frente al daño por humedad, aspecto fundamental, ya que la presencia de agua provoca pérdida de adherencia y disminuye la durabilidad del pavimento. En consecuencia, se compara la resistencia de las muestras en estado seco con aquellas que han sido acondicionadas con humedad (sometidas a saturación al vacío y, en algunos casos, a ciclos de congelamiento–

deshielo e inmersión en agua caliente) mediante una prueba de tracción indirecta. El resultado, denominado Índice de Resistencia a la Tensión (TSR), expresa esta relación en términos porcentuales; un valor de TSR elevado refleja una mayor capacidad del material para resistir los efectos de la humedad [36].

Ecuación 25. Resistencia a la Tracción Indirecta (RTI) [24].

$$RTI = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times H}$$

Donde:

RTI = Resistencia a la Tracción Indirecta (generalmente en kPa o psi).

P = Carga máxima aplicada en el ensayo de tracción indirecta (en N o lbf).

π = Pi (aproximadamente 3.14159).

D = Diámetro de la probeta (en mm o pulgadas).

H = Altura de la probeta (en mm o pulgadas).

Ecuación 26. Índice de Resistencia a la Tensión (TSR) [24].

$$TSR = \left(\frac{RTI \text{ promedio (probetas acondicionadas)}}{RTI \text{ promedio (probetas secas)}} \right) \times 100$$

Donde:

TSR = Índice de resistencia a la tensión

RTI promedio (probetas acondicionadas) = Es el promedio de la Resistencia a la Tracción Indirecta de las probetas que fueron sometidas al acondicionamiento con humedad.

RTI promedio (probetas secas) = Es el promedio de la Resistencia a la Tracción Indirecta de las probetas que se mantuvieron secas.

Definición de términos básicos

Asfalto: sustancia bituminosa de tonalidad oscura y consistencia viscosa, empleada en la construcción de carreteras y otras superficies pavimentadas.

Pavimento: corresponde a la superficie superior de una vía diseñada para resistir el tránsito vehicular.

Fibras: son materiales delgados y alargados que pueden ser naturales o sintéticos.

Acero: consiste en una combinación metálica de hierro con carbono, ampliamente empleada en la construcción por su alta resistencia y durabilidad.

Neumático: es un objeto con cubierta de goma inflable que se monta en la rueda de un vehículo para proporcionar tracción y soporte de carga

Reciclado: proceso de recolección, procesamiento y reutilización de materiales para producir nuevos productos o materias primas.

Materiales y métodos

Materiales

Cemento asfáltico:

Se empleó cemento asfáltico con grado de penetración 60/70, de acuerdo con la normativa del MTC.

Agregados pétreos:

Los agregados provienen de la cantera La Victoria, ubicada en el distrito de Pátapo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. Se verificará que satisfagan las especificaciones estipuladas por el MTC.

Filler:

Se empleó cemento Portland tipo I con el propósito de optimizar la adherencia entre los agregados y el ligante.

Fibra de acero de neumático reciclado:

Se utilizaron porcentajes de adición del 1%, 2%, 3% y 4% respecto a la densidad del peso por briqueta.

Métodos

Tipo de investigación

Desde la perspectiva del objetivo planteado, el presente estudio se clasifica como de tipo aplicada, puesto que busca aportar soluciones a problemas específicos mediante la identificación del problema, la formulación de una hipótesis y la ejecución de ensayos para su verificación [37]. Respecto al proceso de recolección y tratamiento de datos, se considera una investigación cuantitativa, dado que tiene como finalidad obtener resultados numéricos y verificables.

Nivel de investigación

A fin de garantizar la exactitud y confiabilidad de los hallazgos, esta investigación ha implementado una estructura metodológica experimental sofisticada. Siguiendo la definición de Sampieri [38], un diseño experimental se distingue por la modificación deliberada de variables independientes (vistas como los factores causales) y el registro posterior de las consecuencias manifestadas en las variables dependientes (los efectos). Dentro de este marco de estudio, la intervención clave radica en la incorporación de fibras

de polipropileno en las mezclas de carpeta asfáltica reciclada, con la meta clara de cuantificar su influencia en las cualidades físico-mecánicas del material. El diseño requiere, por lo tanto, una vigilancia minuciosa de las alteraciones en estas características al momento de integrar las fibras en diferentes proporciones durante el proceso de fabricación de las briquetas. Como complemento al carácter experimental, el trabajo también integra un componente cuasiexperimental. Dicha integración se justifica por la inclusión de un grupo de referencia (control), producido mediante técnicas convencionales, junto a las unidades de prueba que sí emplean las fibras de polipropileno con la carpeta asfáltica reciclada. Esta dualidad metodológica facilita una evaluación comparativa robusta y clara entre las particularidades físicas y mecánicas que demuestran las briquetas que contienen refuerzo de fibras frente a aquellas elaboradas según el método tradicional.

Población y muestra de estudio

Población y Muestra

El universo de estudio y la porción seleccionada para la investigación, denominados población y muestra, abarcan la totalidad de las briquetas a evaluar, sumando un conjunto de 150 unidades. Sobre este número total de especímenes, se ejecutarán las pruebas técnicas necesarias. Específicamente, 38 muestras servirán para la muestra patrón y 112 muestras será tratadas con la adición de fibra de neumático reciclado en cuatro niveles de dosificación distintos: 1%, 2%, 3% y 4%.

Muestreo

El muestreo de esta investigación está conformado por tres protocolos de ensayo que emplean una cantidad determinada de briquetas, las cuales se encuentran estrictamente reguladas para realizar el diseño de una mezcla asfáltica. El procedimiento Marshall (MTC E 504), requiere un mínimo de tres especímenes por cada análisis.

- Para el método Cántabro (MTC E 515), se necesitan al menos cuatro especímenes por cada análisis.
- El ensayo Lottman modificado (AASHTO T283), exige un mínimo de seis especímenes por cada análisis.

El espécimen de referencia (muestra patrón) se establecerá considerando una categoría de uso vial definida como Tráfico Mediano. La reglamentación técnica del MTC especifica que las probetas de mezclas bituminosas deben cubrir un intervalo de porcentajes que oscila entre el 4% y el 8%, con la obligación de incluir un mínimo de cinco niveles

porcentuales que difieran entre sí en 0.5%, partiendo del diseño base del patrón. Una vez cumplido esto, se seleccionarán los valores finales. Por lo tanto, se someterán a examen los contenidos de ligante del 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0% para satisfacer los requerimientos mínimos del MTC para Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) de Tráfico Mediano.

TABLA V
Muestreo para determinar contenido óptimo de cemento asfáltico por método Marshall

| <i>% OPTIMO DE ASFALTO A DETERMINAR</i> | <i>MARSHALL</i> |
|---|-----------------|
| <i>4%</i> | <i>3</i> |
| <i>4.5%</i> | <i>3</i> |
| <i>5%</i> | <i>3</i> |
| <i>5.5%</i> | <i>3</i> |
| <i>6%</i> | <i>3</i> |
| <i>TOTAL</i> | <i>15</i> |

Fuente: Propia.

De esta forma, se utilizará un total de 15 briquetas iniciales con la finalidad de determinar con exactitud la dosificación óptima del cemento asfáltico en la mezcla. Una vez definido el porcentaje ideal del ligante, se procederá con la elaboración de las probetas patrón. Estas briquetas de referencia serán sometidas a los ensayos Marshall, Cántabro y Lottman, a fin de servir como punto de comparación.

El número de briquetas que se destinarán al grupo de referencia (muestra patrón) se desglosa en la tabla adjunta, totalizando 23 unidades. Así, al sumar las 23 unidades de la muestra patrón con las briquetas necesarias para establecer la dosificación óptima del cemento asfáltico, el número total de especímenes alcanza las 38 unidades.

TABLA VI
Muestreo de muestra patrón

| <i>% OPTIMO DE ASFALTO</i> | <i>MARSHALL</i> | <i>CANTABRO</i> | <i>LOTTMAN</i> | <i>TOTAL</i> |
|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| <i>% OPTIMO</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>6</i> | <i>23</i> |

Fuente: Propia.

Posteriormente, se elaborarán las muestras experimentales, las cuales incluirán la incorporación de fibras metálicas obtenidas a partir de neumáticos reutilizados, y cuyos resultados serán comparados con los obtenidos en las muestras patrón.

Ahora, en lo que respecta al conjunto experimental, este está conformado por 112 briquetas y su objetivo primordial es examinar el desempeño de la mezcla asfáltica al incorporar fibra de acero procedente de neumáticos reciclados. Se analizarán cuatro

proporciones distintas de esta fibra (1%, 2%, 3% y 4% de dosificación). Para cada una de estas concentraciones, se realizarán los ensayos correspondientes con el fin de cuantificar las propiedades mecánicas de la briqueta obtenida, utilizando siempre la dosificación óptima de cemento asfáltico que fue previamente determinada mediante la evaluación de la muestra patrón.

TABLA VII
Muestreo de muestra experimental

| <i>% FIBRAS</i> | <i>MARSHALL</i> | <i>CANTABRO</i> | <i>LOTTMAN</i> | <i>TOTAL</i> |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| <i>1%</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>11</i> | <i>28</i> |
| <i>2%</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>11</i> | <i>28</i> |
| <i>3%</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>11</i> | <i>28</i> |
| <i>4%</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>11</i> | <i>28</i> |
| | | | | <i>112</i> |

Fuente: Propia.

Variables y operacionalización de variables

Variable independiente

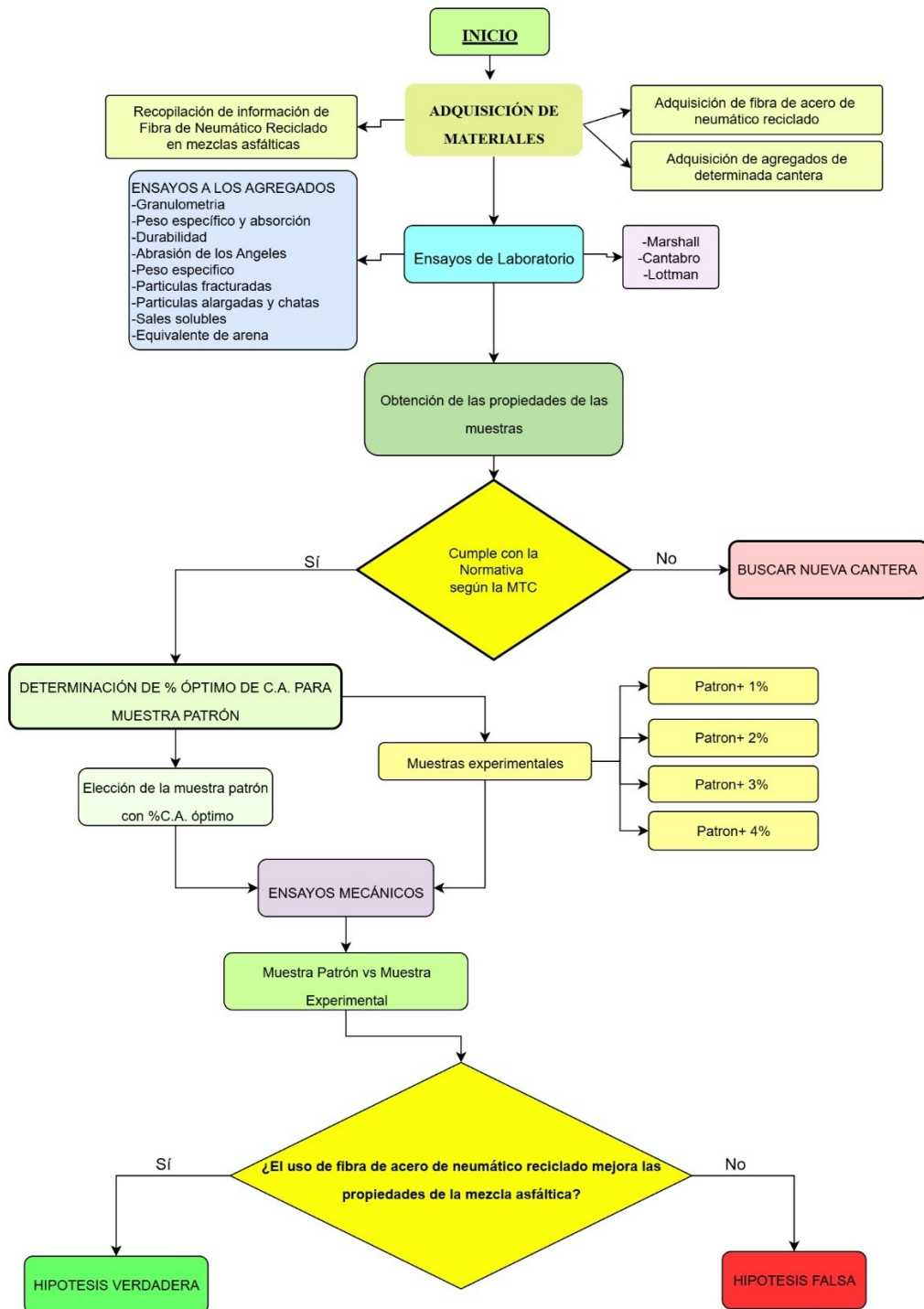
Fibra de acero de neumático reciclado.

Variable dependiente

Comportamiento físico-mecánico de mezcla asfáltica en caliente con incorporación de fibra de acero de neumático reciclado.

Flujograma

Fig.2. Flujograma.



Fuente: Propia.

Operacionalización de variables

*TABLA VIII
Operacionalización de variables*

| <i>Variable Independiente</i> | <i>Definición conceptual</i> | <i>Dimensión operacional</i> | <i>Dimensión</i> | <i>Indicadores</i> | <i>Unidad de medida</i> | <i>Escala de medición</i> | <i>Instrumentos</i> |
|--|---|---|---------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|---|
| <i>Fibra de acero de neumático reciclado</i> | <i>Acero recuperado de llantas usadas, empleado como refuerzo en materiales de construcción para mejorar su resistencia [32]</i> | <i>La fibra de acero de neumático reciclado será dosificada en diferentes porcentajes (1%, 2%, 3% y 4%) en la mezcla bituminosa, de acuerdo con lo planteado. Se utilizará una balanza de precisión para medir la cantidad exacta de fibra de acero de neumático reciclado a incorporar en cada mezcla, asegurando que cada proporción sea replicable y consistente durante el proceso de preparación de las muestras</i> | <i>Dosificación</i> | <i>Cantidad de fibra</i> | <i>%</i> | <i>Razón</i> | <i>Balanza de precisión</i> |
| <i>Dependiente</i> | <i>Definición conceptual</i> | <i>Dimensión operacional</i> | <i>Dimensión</i> | <i>Indicadores</i> | <i>Unidad de medida</i> | <i>Escala de medición</i> | <i>Instrumentos</i> |
| <i>Comportamiento físico - mecánico de mezcla asfáltica en caliente con incorporación de fibra de acero de neumático reciclado</i> | <i>Es la respuesta del material compuesto (agregados pétreos, cemento asfáltico y fibra de acero de neumático reciclado) ante la aplicación de cargas y variaciones de temperatura y humedad a lo largo de su vida útil, lo cual determina su desempeño y durabilidad como capa de rodadura en un pavimento flexible [34]</i> | <i>La mezcla bituminosa se evaluará en función de su comportamiento físico-mecánico mediante la aplicación de ensayos de laboratorio estandarizados (MTC y ASTM) que permitirán cuantificar el efecto de la fibra de acero en sus propiedades de desempeño y durabilidad.</i> | <i>mecánico</i> | <i>Estabilidad y Fluencia</i> | <i>(kg) y (mm)</i> | <i>Razón</i> | <i>Ensayo Marshall MTC E 504</i> |
| | | | | <i>Abrasión</i> | <i>%</i> | | <i>Ensayo de Cantabro MTC E 515</i> |
| | | | | <i>Efecto de humedad</i> | <i>%</i> | | <i>Ensayo de Lottman ASTM D4868</i> |
| | | | <i>físico</i> | <i>Porcentaje que pasa</i> | <i>%</i> | | <i>Análisis granulométrico de finos y gruesos MTC E 204</i> |
| | | | | <i>Desgaste por abrasión</i> | <i>%</i> | | <i>Abrasión de los ángeles MTC E 207</i> |
| | | | | <i>Partículas chatas y alargadas</i> | <i>%</i> | | <i>Partículas chatas y alargadas MTC E 223</i> |
| | | | | <i>Partículas fracturadas</i> | <i>%</i> | | <i>Partículas fracturadas MTC E 210</i> |
| | | | | <i>Sales solubles totales</i> | <i>%</i> | | <i>Sales solubles en agregados MTC E 219</i> |
| | | | | <i>Peso específico y absorción</i> | <i>(g/cm3) y (%)</i> | | <i>Peso específico y absorción de agregados gruesos MTC E 206</i> |
| | | | | <i>Calidad del agregado</i> | <i>%</i> | | <i>Equivalente de arena MTC E 114</i> |
| | | | | <i>L.P y L.L</i> | <i>%</i> | | <i>L.P y L.L MTC E 111</i> |
| | | | | <i>Peso específico y absorción</i> | <i>(g/cm3) y (%)</i> | | <i>Peso específico y absorción MTC E 205</i> |
| | | | | <i>Contenido de humedad</i> | <i>%</i> | | <i>Contenido de humedad MTC E 215</i> |
| | | | | <i>Partículas finas activas</i> | <i>ml/g</i> | | <i>Azul de metileno AASHTO TP 57</i> |
| <i>Pérdida por desgaste</i> | <i>%</i> | <i>Durabilidad al sulfato de sodio y de magnesio MTC E 209</i> | | | | | |

Fuente: Propia

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TABLE IX.
Técnicas de recolección de datos

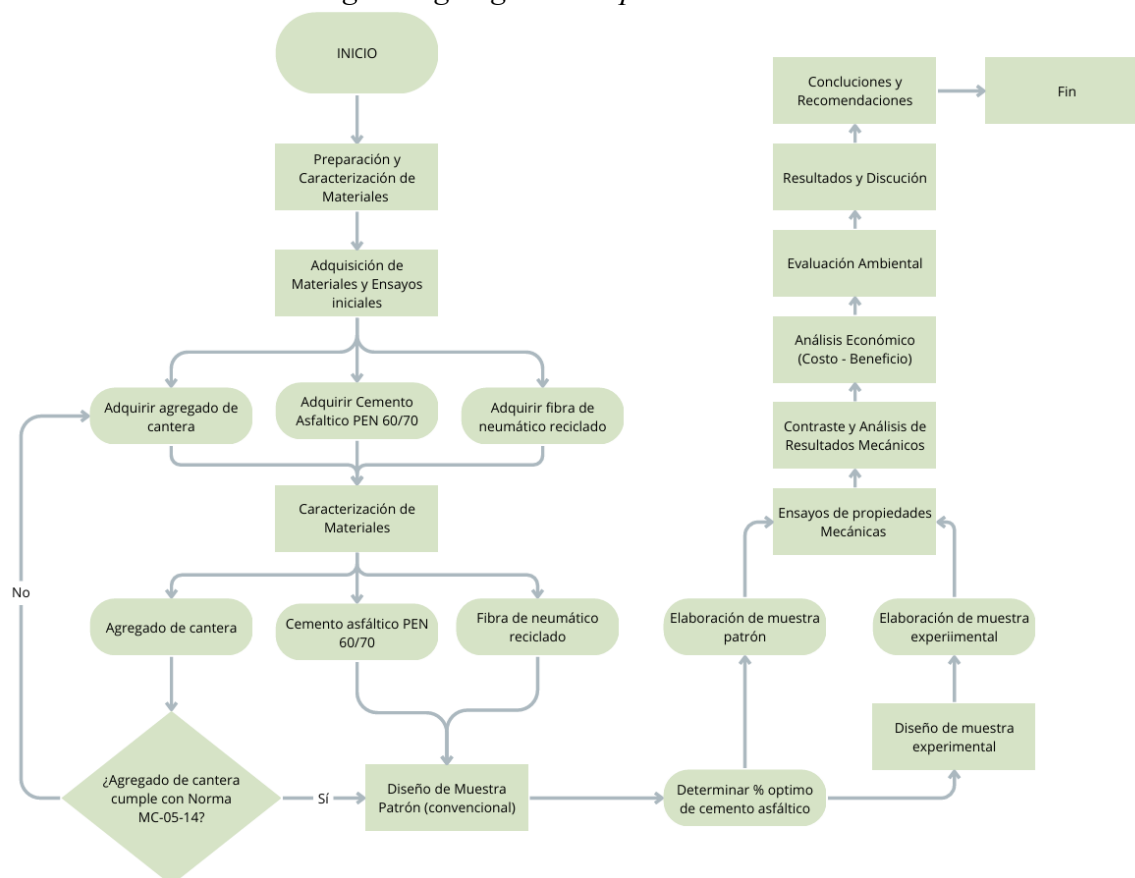
| TÉCNICAS | INSTRUMENTOS |
|---------------------------------|--|
| Análisis de documentos | <ul style="list-style-type: none"> Bases de datos académicos Tesis Artículos Manual de carreteras Manual de ensayo de materiales, MTC |
| Observación | <ul style="list-style-type: none"> Fotos de ensayos realizados en laboratorio |
| Recopilación de datos | <ul style="list-style-type: none"> Apuntes Cuadros comparativos Laboratorio Gráficos de resultados |
| Procesamiento de la información | <ul style="list-style-type: none"> Word Excel |

Fuente: Propia.

Procedimientos

Se ha realizado un diagrama de flujo donde muestra de manera detallada el procedimiento de elaboración de esta investigación.

Fig.3. Organigrama de procedimiento.



Fuente: Propia.

Adquisición de alambre de neumático reciclado

Se contacto a la empresa Mining People SAC, la cual se dedica al acondicionamiento físico de neumáticos OTR, para que nos brinde la fibra de acero de neumático reciclado. Para la obtención de la fibra de acero se hace de manera mecánica, la cual se obtiene grano de caucho, fibra de acero y textil. Para el desarrollo de esta investigación, solo vamos a usar la fibra de acero, tal como se muestra en la siguiente figura, sin tener ningún otro proceso. El material definido para la investigación y adición al asfalto es el alambre de diámetro 0.25mm y definido en laboratorio de una longitud de 1.5cm. Con el fin de contribuir con el reciclaje.

Fig.4. Fibra de acero obtenida en planta de reciclaje.



Fuente: Propia.

Adquisición de cemento asfáltico PEN 60/70

La adquisición se centró en el cemento asfáltico PEN 60/70 por considerarse un ligante de aplicación generalizada. Esta consistencia es la más adecuada para regiones con variaciones climáticas moderadas, manteniendo el equilibrio necesario entre rigidez y flexibilidad. Por otra parte, este grado es el referente primario al iniciar cualquier diseño de mezcla asfáltica en caliente que utilice la metodología Marshall, lo que garantiza la viabilidad del proceso experimental

Adquisición de agregados de cantera

El proceso se inició con la selección estratégica de los materiales principales, priorizando los yacimientos más destacados de la región de Lambayeque tanto para el agregado fino como para el grueso. Específicamente, se enfocó en trabajar con material de la cantera La Victoria. Tras una evaluación rigurosa, se determinó que los agregados provenientes de esta cantera cumplen con los estándares de calidad requeridos y se encuentra en

condiciones óptimas. Esta confirmación de la calidad de los áridos permitió avanzar sin reservas con las fases posteriores de la investigación.

Caracterización de Materiales

Cemento asfáltico PEN 60/70

El cemento asfáltico clasificado como grado de penetración 60/70 constituye un ligante bituminoso estándar, indispensable en la ingeniería de pavimentos flexibles y especialmente adecuado para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente (MAC) destinadas a regiones con un régimen de temperaturas moderado. Su designación se fundamenta en la prueba empírica de penetración, estableciendo que el material exhibe una consistencia donde la aguja normalizada se introduce entre 6.0 y 7.0 milímetros a una temperatura controlada de 25 °C. Esta rigidez intermedia confiere un equilibrio funcional crítico a la matriz asfáltica: por un lado, provee la estabilidad plástica necesaria para mitigar la formación de ahuellamientos bajo cargas vehiculares elevadas; por otro lado, mantiene la flexibilidad y ductilidad requeridas para resistir la fisuración por fatiga durante la vida útil del pavimento. Consecuentemente, el 60/70 es el agente conglomerante predilecto para ligar los agregados pétreos, formando la capa de rodadura y la capa base asfáltica en carreteras que demandan una probada estabilidad térmica y una alta resistencia estructural.

Fibra de acero de neumático reciclado

El alambre para neumáticos, es un producto fabricado a partir de varillas de acero de alto carbono de excelente calidad, que se somete a procesos de trefilado y recubrimiento con cobre. Su función principal es actuar como elemento de refuerzo en caucho, ya sea en configuraciones trenzadas o en espiral. El alambre se destaca por su alta resistencia, buena tenacidad y excelente comportamiento frente a la fatiga, además de contar con un recubrimiento uniforme de latón que le proporciona una fuerte adherencia al caucho [39]. Se caracteriza por su geometría irregular y variable. Compuesto por acero de alta resistencia, esta morfología inconstante a menudo con trazas de caucho residual potencia su anclaje mecánico. Este material se define por su elevada resistencia a la tracción intrínseca.

Fig.5. Diámetro del alambre.



Fuente: Propia.

El alambre utilizado para esta investigación presenta las siguientes características:

Diámetro (mm): 0.25

Resistencia a la tracción (Mpa): 2450-2750

Peso del revestimiento (G/kg): 5 ± 2

Porcentaje de cobre (%): 68 ± 4

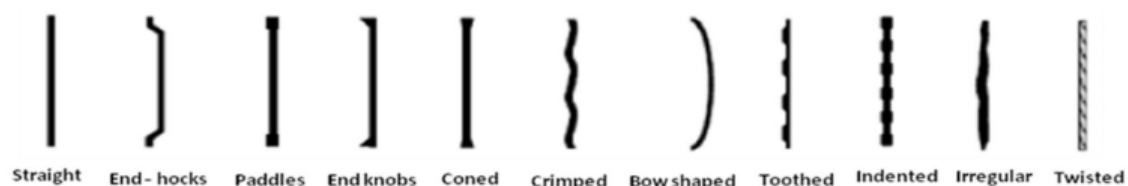
Unidad de medida: Kilogramo (kg)

Ductilidad: Alta

Acero de alto carbono

Hay diferentes tipos de fibra que pueden ser usados, la cual también tienen distintas formas:

Fig.6. Formas de alambre.



Fuente: Orbe [40].

El alambre que se utilizó para esta investigación es del tipo irregular ya que es reciclado y tras el proceso de extracción del neumático tuvo esa forma.

Ensayos de agregados

Ensayo de granulometría

Procedemos a verificar si los agregados a utilizar están en buenas condiciones, aptas para ser utilizadas en la mezcla asfáltica. Para ello, se clasifica por una serie de tamices:

Agregado grueso: Tamiz: 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4, 8, 16 y fondo

Agregado Fino: Tamiz: 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100 y fondo

Para ambos agregados, se ha utilizado diferentes tamices que varía desde $\frac{3}{4}$ hasta la N°200.

Fig.7. Ensayo de granulometría para agregados.



Fuente: Propia.

Ensayo de peso específico y absorción

Agregado grueso

El proceso comenzó con la inmersión del material pétreo triturado (piedra chancada) durante un periodo de veinticuatro horas. Transcurrido este tiempo, la muestra fue retirada y se llevó a cabo un secado superficial cuidadoso. Acto seguido, la muestra se introdujo en una cesta de prueba para medir su masa estando completamente sumergida en agua (masa sumergida). Posteriormente, esta misma muestra fue trasladada a un horno de secado donde permaneció por un día completo (24 horas). Por último, se permitió que el material alcanzara la temperatura ambiente antes de realizar la medición final de su peso en estado seco.

Fig.8. Peso de agregado grueso de peso específico.

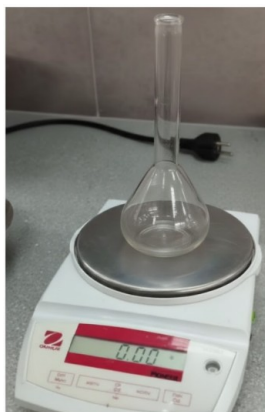


Fuente: Propia.

Agregado fino

Se inicia con la selección de una porción de 500 gramos del agregado que pase por el tamiz No. 4, luego el material se introdujo en una fiola previamente tarado. La muestra fue cubierta con agua, asegurándose de eliminar cualquier burbuja de aire mediante agitación, y luego se dejó en reposo durante 24 horas. Posteriormente, se determinó el peso combinado de la fiola, el agua y el agregado, para luego transferir el contenido completo a una tara que fue colocada en un horno a secar por 24 horas. Finalmente, una vez que la muestra se enfrió, se procedió a registrar su masa en estado completamente seco.

Fig.9. Tara de fiola para ensayo de peso específico



Fuente: Propia.

Ensayo de contenido de humedad – agregado fino y grueso.

Se toma una muestra en estado natural con su humedad natural, se pesa la muestra y se coloca al horno a 110 grados por 24 horas, posterior a este tiempo, se vuelve a registrar los pesos secos de la muestra para así registrar su contenido de humedad.

Fig.10. Ensayo de contenido de Humedad.



Fuente: Propia.

Fig.11. Colocación de muestras al horno – Agregado Grueso.



Fuente: Propia.

Ensayo de partículas chatas y alargadas

Para el agregado grueso, se utilizó una muestra representativa y se pasa por el tamiz N° 3/8, hasta obtener aproximadamente 100 partículas, luego se clasificó en 3 grupos, chata, alargada y ni chata ni alargada. Por último, se procedió a usar un calibrador para determinar cada tipo de clasificación de la muestra.

Fig.12. Ensayo de partículas chatas alargadas.



Fuente: Propia.

Ensayo de caras fracturadas

Se procede a secar y tamizar el agregado grueso, se inspecciona cada partícula, luego consideramos cara fracturada si su superficie está rota o áspera y cubre al menos un 25% del área máxima de la partícula y tiene aristas definidas. Después se separan y pesan las partículas que cumplen con el número de caras fracturadas de aquellas redondeadas, y con estos pesos se calcula el porcentaje final para evaluar la calidad del material.

Fig.13. Ensayo de partículas fracturadas.



Fuente: Propia.

Ensayo equivalente de arena

Primero se pasa la arena por el tamiz N° 04 hasta obtener 200 gramos de material, para luego tomar el peso de la probeta, y después verter agua destilada y vaciar la arena, dejando sedimentar la muestra durante 20 minutos, donde durante ese tiempo, se tiene que observar si la arena sedimenta por completo y las arcillas quedan suspendidas. Una vez pasado el tiempo establecido, se mide la altura de la capa de arena sedimentada, y luego se mide la altura total, se la parte superior de la arena, hasta la superficie de la suspensión. De esto realizamos el cálculo hasta obtener el valor del equivalente de arena.

Fig.14. Ensayo equivalente de arena.



Fuente: Propia.

Ensayo de determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos

En este ensayo, se inició con la preparación de la muestra de suelo pasante del tamiz N° 40 y su curado con agua destilada durante 24 horas. Posteriormente, se determinó el Límite Líquido al utilizar el aparato de Casagrande para registrar el contenido de humedad que logró cerrar el surco de la muestra con 25 golpes. Seguidamente, se evaluó el Límite Plástico al amasar una porción de la muestra y enrollarla hasta que se fisuró al alcanzar 3,2 mm de diámetro. El material fisurado se pesó en estado natural, se secó en el horno a 110 °C por 24 horas, y se pesó de nuevo para obtener el contenido de humedad. Finalmente, se calculó el Índice de Plasticidad al restar el Límite Plástico del Límite Líquido.

Fig.15. Ensayo límite plástico.



Fuente: Propia.

Ensayo resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles

Se comenzó con el pesado de 5 kg de la muestra gruesa. Acto seguido, el material se introdujo en el cilindro de la máquina de Los Ángeles junto con once esferas de acero, y se procedió a someter la máquina a rotación por el número de revoluciones preestablecido. Una vez finalizado el ciclo, el contenido total se extrajo y se tamizó a través de la malla N° 10. Finalmente, se registró la masa del material retenido en el tamiz, lo cual permitió determinar la diferencia de peso inicial y, por ende, cuantificar el porcentaje de desgaste, estableciendo la resistencia a la abrasión del agregado.

Fig.16. Ensayo resistencia al desgaste.



Fuente: Propia.

Ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos flexibles.

El análisis se inició con el secado de la muestra de agregado durante 24 horas. Acto seguido, el material se sumergió en agua destilada cubriendo 3 cm y se calentó hasta la ebullición. Una vez que hirvió, el líquido se agitó intermitentemente cuatro veces en diez

minutos. Se prosiguió con la decantación hasta que la solución se mostró totalmente transparente. Finalmente, el líquido se filtró, se colocó en el horno otras 24 horas para evaporar el agua, y se terminó al pesar el residuo seco que cuantificó las sales solubles.

Fig.17. Ensayo de sales solubles.

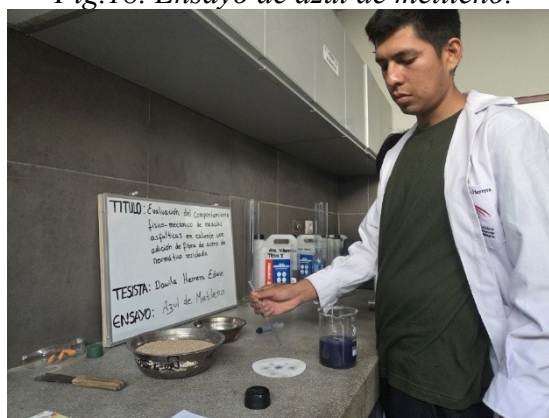


Fuente: Propia.

Ensayo azul de metileno

El proceso comenzó con el tamizado del agregado fino a través de la malla N° 200. A continuación, se dispersó una muestra de 5 g en 500 ml de agua destilada. Se procedió a dosificar la solución de azul de metileno gota a gota, con agitación constante. Se verificó el punto final en papel filtro: el ensayo se consideró concluido cuando la gota mostró una pigmentación azul uniforme y persistente. Finalmente, se registró el volumen total de solución consumida.

Fig.18. Ensayo de azul de metileno.



Fuente: Propia.

Ensayo durabilidad sulfato de magnesio

Preparamos una solución saturada de sulfato de magnesio, y se sulfato de sodio, colocamos nuestra muestra en inmersión por unas 16 a 18 horas, luego, procedemos a realizar el secado, retirando la muestra de la inmersión y la colocamos en horno por unas 16 horas. Repetimos este procedimiento por 5 ciclos completos (inmersión + secado). Finalizando, se tamiza la muestra, y se mide el material que se ha disgregado.

Fig.19. Ensayo de durabilidad de sulfato de magnesio (peso de material disgregado).



Fuente: Propia.

Ensayo de peso específico de mezclas asfálticas

Para este ensayo, se procedió a medir la masa de la muestra de asfalto compactada seca, sumergida y saturada superficialmente seca para obtener el peso específico de la mezcla asfáltica.

Fig.20. Muestras de asfalto a ser pesadas.



Fuente: Propia.

Diseño de muestra patrón (muestra convencional)

Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el método Marshall

El diseño patrón se basó en la consideración de diversos porcentajes de ligante (asfalto), agregado fino y grueso. Habiendo superado los ensayos y criterios de la normativa técnica peruana para mezclas asfálticas, se definió el diseño patrón para obtener el contenido óptimo de asfalto. Las proporciones elegidas para las muestras patrón, según el muestreo y población, fueron 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%, concebidas para tráfico mediano.

*TABLA X
Porcentaje de MAC*

| | |
|------------------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filer) | 1% |
| CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 | |

Fuente: Propia.

- Para 4%:

TABLA XI
Cantidad de materiales para diseño de MAC al 4%

| <i>MATERIALES</i> | <i>PESO (g) PARA 3 BRIQUETAS</i> |
|--------------------------|----------------------------------|
| <i>Piedra</i> | <i>1923.75</i> |
| <i>Arena</i> | <i>2351.25</i> |
| <i>Cemento (Filer)</i> | <i>45</i> |
| <i>Cemento Asfáltico</i> | <i>180</i> |

Fuente: Propia.

- Para 4.5%:

TABLA XII
Cantidad de materiales para diseño de MAC al 4.5%

| <i>MATERIALES</i> | <i>PESO (g) PARA 3 BRIQUETAS</i> |
|--------------------------|----------------------------------|
| <i>Piedra</i> | <i>1913.63</i> |
| <i>Arena</i> | <i>2338.88</i> |
| <i>Cemento (Filer)</i> | <i>45</i> |
| <i>Cemento Asfáltico</i> | <i>202.5</i> |

Fuente: Propia.

- Para 5%:

TABLA XIII
Cantidad de materiales para diseño de MAC al 5%

| <i>MATERIALES</i> | <i>PESO (g) PARA 3 BRIQUETAS</i> |
|--------------------------|----------------------------------|
| <i>Piedra</i> | <i>1903.5</i> |
| <i>Arena</i> | <i>2326.5</i> |
| <i>Cemento (Filer)</i> | <i>45</i> |
| <i>Cemento Asfáltico</i> | <i>225</i> |

Fuente: Propia.

- Para 5.5%:

TABLA XIV
Cantidad de materiales para diseño de MAC al 5.5%

| <i>MATERIALES</i> | <i>PESO (g) PARA 3 BRIQUETAS</i> |
|--------------------------|----------------------------------|
| <i>Piedra</i> | <i>1893.38</i> |
| <i>Arena</i> | <i>2314.13</i> |
| <i>Cemento (Filer)</i> | <i>45</i> |
| <i>Cemento Asfáltico</i> | <i>247.5</i> |

Fuente: Propia.

- Para 6%:

TABLA XV
Cantidad de material para diseño de MAC al 6%

| <i>MATERIALES</i> | <i>PESO (g) PARA 3 BRIQUETAS</i> |
|--------------------------|----------------------------------|
| <i>Piedra</i> | <i>1883.25</i> |
| <i>Arena</i> | <i>2301.75</i> |
| <i>Cemento (Filer)</i> | <i>45</i> |
| <i>Cemento Asfáltico</i> | <i>270</i> |

Fuente: Propia.

Teniendo ya definidas las cantidades de agregados por porcentaje, se procede a elaborar las 15 briquetas totales destinadas al diseño de tráfico mediano. El proceso se inició con el pesaje y calentamiento de las cantidades necesarias de agregados, filer y cemento asfáltico en el horno.

Fig.21. Pesaje de agregados.



Fuente: Propia.

Fig.22. Cemento asfáltico en el horno.



Fuente: Propia.

Una vez que los materiales alcanzaron la temperatura adecuada, se mezclaron hasta obtener una consistencia completamente uniforme.

Fig.23. Mezcla de agregados y filer con cemento asfáltico.



Fuente: Propia.

Inmediatamente, se realizó el llenado de los moldes con la mezcla en tres capas, varillando (chuseando) cada capa con 25 golpes para reducir los vacíos iniciales, hasta lograr la altura deseada.

Fig.24. Llenado de la briqueta con el material mezclado.



Fuente: Propia.

Fig.25. Chuseado de la mezcla asfáltica en briqueta.



Fuente: Propia.

Posteriormente, cada probeta se compactó aplicando 50 golpes por cada cara, siendo así un total de 100 golpes por briqueta.

Fig.26. Compactado de briquetas.



Fuente: Propia.

Una vez compactado, se procedió a retirar la briqueta del martillo compactador.

Fig.27. Retiro de briqueta compactada del martillo compactador.



Fuente: Propia.

Con el total de 15 probetas moldeadas, se procedió a dejarlas en reposo para su enfriamiento y posteriormente tomar las mediciones de las mismas.

Fig.28. Total, de briquetas compactadas.



Fuente: Propia.

Los especímenes se acondicionaron en un baño de temperatura controlada. Finalmente, cada muestra se sometió a una carga constante en la prensa, y en el instante preciso en que la Estabilidad disminuyó, se registró de manera simultánea el Flujo, lo que permitió determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico y establecer la muestra patrón para posteriores ensayos complementarios como Marshall, Cantabro y Lottman.

Fig.29. Registro de estabilidad y flujo.



Fuente: Propia.

Ensayo Marshall con porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Una vez que se ha identificado el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, se procedió a confirmar las características de desempeño mecánico. Con este fin, se preparó un grupo de ocho (8) especímenes Marshall, todos dosificados con la proporción exacta del ligante óptimo. Aunque la norma de ensayo MTC E 504 establece un mínimo de tres muestras para obtener resultados representativos, el aumento de del número de especímenes se justifica para reducir la dispersión estadística y garantizar la fiabilidad de los resultados de estabilidad, flujo, densidad y vacíos. El promedio de estas 8 probetas constituirá el valor de referencia de la mezcla patrón.

Fig.30. Ensayo Marshall



Fuente: Propia.

Cantabro de pérdida por desgaste

El proceso requirió el pesaje inicial de todas las probetas cilíndricas para fijar su masa de partida. Un conjunto de especímenes se mantuvo en ambiente seco a temperatura ambiente. El grupo restante se sometió a un régimen de saturación e inmersión prolongada a 60°C para simular el daño por humedad. Finalizado el acondicionamiento, cada testigo se colocó individualmente en el tambor del equipo de Los Ángeles sin elementos abrasivos, donde se completaron trescientas rotaciones. Inmediatamente después, los cuerpos de prueba se recuperaron, se limpió el material disgregado y se procedió a una segunda pesada. La diferencia resultante permitió el cálculo directo del porcentaje de material perdido en cada condición, lo que sirvió para determinar la resistencia al desgaste en estado seco y después de la exposición al agua.

Fig.31. Muestras sometidas al ensayo de Cantabro



Fuente: Propia.

Fig.32. Cantabro, muestra ensayada y sin ensayar.



Fuente: Propia.

Ensayo de Lottman

La evaluación del daño por humedad se realizó mediante la compactación de probetas a un vacío de aire específico, las cuales se dividieron en un subgrupo seco y uno acondicionado. El subgrupo húmedo se sometió a un proceso de saturación por vacío, seguido por un ciclo de congelación a -18°C , y una posterior inmersión a 60°C durante 24 horas. Ambos grupos se atemperaron a la temperatura de ensayo y luego se cargaron diametralmente en la prensa hasta la fractura. La carga máxima resistida fue documentada para ambos estados, lo que facilitó el cálculo de la Relación de Resistencia a la Tracción (TSR), que compara la resistencia del grupo húmedo contra el seco.

Fig.33. Lottman, inmersión de muestras en baño maría.



Fuente: Propia.

Diseño de muestra experimental

La determinación de la cantidad de muestras experimentales se consumó mediante la aplicación del software G*POWER 3.1.9.7, con el propósito de establecer valores validados desde una perspectiva estadística. En lo referente a la definición de los porcentajes que serían evaluados, dicho procedimiento se efectuó de forma manual y no probabilística, adoptando un criterio de conveniencia, y se empleó un cálculo específico para fijar estos parámetros.

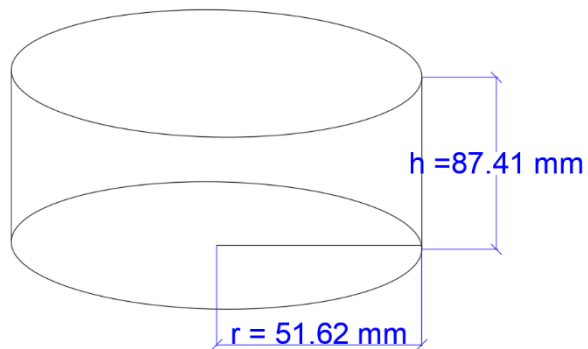
Para la densidad:

Se trabajó con la siguiente fórmula:

$$D = m/v$$

Para ello, se calculó el volumen de la briqueta:

Fig.34. Dimensiones de la briqueta



Fuente: Propia.

$$v = (\pi r^2) * h$$

$$v = 83.712 * 87.41$$

$$v = 731.723 \text{ cm}^3$$

Se calculó la masa de fibra de acero reciclado en la briqueta, la cual se realizó de manera manual, teniendo un total de masa de: $m = 150 \text{ g}$.

Fig.35. Masa de fibra de acero de neumático reciclado, en la briqueta.



Fuente: Propia.

Al haber obtenido estos datos, se operó:

$$D = m/v$$

$$D = 0.205 \text{ g/cm}^3$$

En relación a la densidad, se optó por trabajar con 4 porcentajes, de manera no probabilística por conveniencia: 1%, 2%, 3% y 4%. Luego se procedió a calcular el peso de la fibra de acero de neumático reciclado, de acuerdo a los porcentajes establecidos.

TABLA XVI

Peso de alambre de acero de neumático reciclado por briqueta según sus porcentajes.

| <i>Masa</i> | <i>Densidad x %Volumen</i> | <i>Resultado</i> |
|-------------|----------------------------|------------------|
| 1% | 0.205 * (731.723/0.01) | 1.50 g |
| 2% | 0.205 * (731.723/0.02) | 3.00 g |
| 3% | 0.205 * (731.723/0.03) | 4.50 g |
| 4% | 0.205 * (731.723/0.04) | 6.00 g |

Fuente: Propia.

La investigación se centra en evaluar la influencia de la adición de fibra de alambre de acero de neumático reciclado. La variable independiente fue definida con cuatro niveles (o grupos): 1%, 2, 3% y 4% de porcentaje de adición. Se seleccionó 1% como el punto de partida experimental mínimo para asegurar la cobertura completa de la base de la probeta.

Determinación del Tamaño Muestral (Análisis de Potencia a Priori)

Para establecer el tamaño muestral (n) necesario que garantizara una adecuada capacidad de detección de efectos, se ejecutó un análisis de potencia estadística a priori mediante el software G*Power (versión 3.1.9.7), seleccionando el ANOVA de efectos fijos, ómnibus, de una vía (F test). Este enfoque busca el mínimo de repeticiones (probetas) para los 4 grupos experimentales.

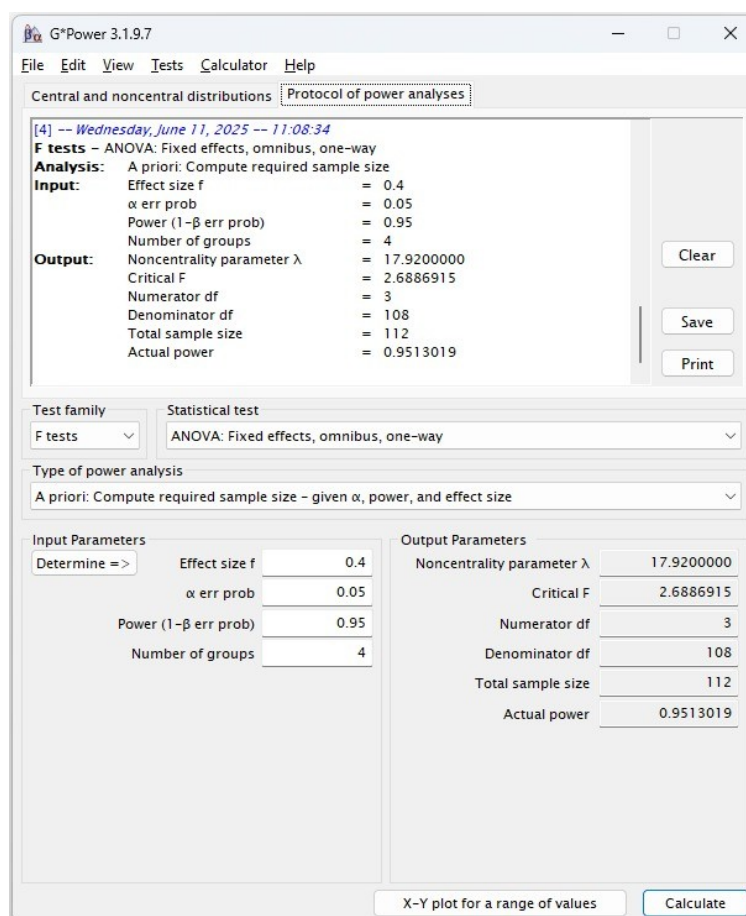
Los parámetros de entrada (Input Parameters) se definieron de la siguiente manera:

- Tamaño del Efecto (f): Se estableció un valor de 0.4, que corresponde a un tamaño de efecto grande según la clasificación de Cohen, representando la magnitud mínima de la diferencia esperada.
- Nivel de Significancia (α): Fijado en 0.05 (o text 5%), este valor estándar determina la Probabilidad de Error Tipo I, es decir, la tasa aceptable de rechazar la hipótesis nula siendo esta verdadera.
- Potencia Estadística (1- β): Se requirió un valor de 0.95 (o text 95%), lo que indica la alta probabilidad deseada de evitar el Error Tipo II (falso negativo) y de detectar correctamente el efecto.
- Número de Grupos: 4.

El análisis de potencia arrojó un Tamaño Muestral Total requerido de 112 probetas. Este cálculo asegura una Potencia Actual (Actual power) de 0.9513, confirmando que la

muestra es suficientemente robusta para detectar el tamaño del efecto postulado con un alto grado de confianza.

*Fig.36. Programa G*Power.*



*Fuente: Programa G*Power 3.1.9.7*

Se determinó un tamaño muestral experimental de 112 unidades. La tabla subsiguiente detalla el número de especímenes representativos y los porcentajes a evaluar en cada prueba (Marshall, Cántabro y Lottman).

*TABLA XVII
Cantidad de muestras por ensayo experimental según G*POWER*

| <i>ENSAYO EXPERIMENTAL</i> | <i>1%</i> | <i>2%</i> | <i>3%</i> | <i>4%</i> | <i>Total, por ensayo</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| <i>Marshall</i> | 8 | 8 | 8 | 8 | 32 |
| <i>Lottman</i> | 11 | 11 | 11 | 11 | 44 |
| <i>Cántabro</i> | 9 | 9 | 9 | 9 | 36 |
| <i>TOTAL, DE MUESTRAS</i> | | | | | 112 |

Fuente: Propia.

Se procedió a la ejecución de los ensayos experimentales. El primer paso consistió en la separación de la fibra en las cantidades que correspondían a cada porcentaje que se

evaluaría. Por criterio de conveniencia y para facilitar la trabajabilidad, el cálculo se efectuó para obtener tres probetas por cada porcentaje de adición.

Fig. 37. Fibra de acero por porcentaje establecido.



Fuente: Propia.

Ensayo Marshall Experimental

Se empleó el protocolo operativo idéntico al del ensayo Marshall ejecutado en la muestra patrón. La única diferencia notable en esta fase consistió en que los especímenes destinados a la prueba incorporaron la fibra de neumático reciclado en las diversas proporciones porcentuales que fueron definidas para la investigación.

Ensayo Cantabro Experimental

Para el Ensayo Cantabro Experimental, se empleó el protocolo operativo idéntico al que fue ejecutado en la muestra patrón. La única variación notable en esta fase consistió en que los especímenes destinados a la prueba incorporaron la fibra de neumático reciclado en las diversas proporciones porcentuales que fueron definidas para la investigación.

Ensayo Lottman Experimental

Se realiza el mismo procedimiento que en el ensayo de Lottman de la muestra patrón, a todas las muestras experimentales, con sus diferentes adiciones porcentuales propuestas.

Matriz de Consistencia

TABLA XVIII
Matriz de consistencia

| TÍTULO | PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES E INDICADORES | METODOLOGÍA | POBLACIÓN |
|--|--|--|--|---|---|---|
| <p>Evaluación del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas pen 60/70 en caliente con incorporación de fibras de acero de neumático reciclado</p> | <p>¿De qué forma beneficia la inclusión de fibras de acero de neumáticos reciclados en el asfalto en caliente?</p> | <p>Objetivo general: Evaluar el comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas PEN 60/70 en caliente con adición de fibra de acero de neumático reciclado.</p> <p>Objetivos específicos: Caracterizar las propiedades físicas de los materiales compuestos por agregado fino/grueso y fibra de acero de neumático reciclado, Determinar el diseño óptimo de mezcla patrón y la modificada con fibra de acero de neumático reciclado en sus diferentes porcentajes, Evaluar de las propiedades mecánicas de la muestra patrón y las muestras con la incorporación de fibra de acero de neumático reciclado, Analizar del costo-beneficio de fibra de neumático reciclado en asfalto en caliente y la mezcla tradicional, Evaluar ambientalmente la incorporación de fibra de acero de neumático reciclado frente a la mezcla asfáltica tradicional.</p> | <p>Al añadir las fibras de acero de neumáticos reciclados, se mejorarán las características físicas y mecánicas de los asfaltos en caliente, lo que permitirá que los pavimentos flexibles sean más duraderos y resistentes.</p> | <p>Variable independiente: Fibra de acero de neumático reciclado</p> <p>Variable dependiente: Comportamiento físico - mecánico de mezcla asfáltica en caliente con incorporación de fibra de acero de neumático reciclado</p> | <p>Esta investigación genera nuevos conocimientos que sean útiles para solucionar una realidad problemática; a través del uso del alambre de acero de neumático reciclado en asfalto en caliente para pavimentos flexibles, con la finalidad de poder solucionar diversos problemas técnicos y ambientales. Es una investigación de tipo aplica experimental, ya que mediante diversos ensayos planteados se analizó los resultados obtenidos, con los que se validará o descartará la hipótesis planteada. Con lo cual se comprobará si mediante esta investigación se puede dar solución a la problemática.</p> | <p>POBLACIÓN: La mezcla asfáltica en caliente</p> <p>MUESTRA: Las diferentes dosificaciones de fibra de alambre de acero de neumático reciclado que se agregará a la mezcla asfáltica en caliente, las cuales son: 1, 2, 3 y 4%</p> <p>MUESTREO: El número total de muestras es 150, en las que se realizaran los ensayos de Marshall, Cantabro y Lottman.</p> |

Fuente: Propia.

Resultados y Discusión

Resultados

En esta sección se expondrán los resultados obtenidos. Primero, se presentará la caracterización de las propiedades físicas de los agregados (finos y gruesos) para validar su clasificación según los estándares técnicos. Seguidamente, se detallarán los resultados de las pruebas mecánicas aplicadas tanto a la muestra patrón como a las muestras experimentales reforzadas con fibra de acero de neumático reciclado en las dosificaciones especificadas. Estos hallazgos son fundamentales para la consecución de los objetivos de la investigación, por lo que el análisis se iniciará en el orden en que se lograron dichos objetivos.

Caracterizar las propiedades físicas de los materiales compuestos por agregado fino/grueso y fibra de acero de neumático reciclado

*TABLA XIX
Resumen - ensayos de los agregados*

| <i>Ensayo</i> | <i>Propiedad evaluada</i> | <i>Agregado fino</i> | <i>Agregado grueso</i> | <i>Valor límite / Norma MTC</i> | <i>Cumple</i> |
|--|---|----------------------|------------------------|--|------------------------|
| <i>Granulometría</i> | <i>Tipo de gradación</i> | <i>MAC-2</i> | <i>MAC-2</i> | <i>Dentro de curva MAC-2</i> | <i>Sí</i> |
| <i>Peso específico y absorción</i> | <i>Peso específico (g/cm³)</i> | <i>2.586</i> | <i>2.731</i> | — | <i>Sí</i> |
| | <i>Absorción (%)</i> | <i>0.59</i> | <i>0.84</i> | <i>≤ 1.0 (MTC E-205)</i> | <i>Sí</i> |
| <i>Contenido de humedad (%)</i> | <i>Porcentaje de agua</i> | <i>1.11</i> | <i>2.03</i> | <i>Ideal < 0.5% (MTC E-215)</i> | <i>Requiere secado</i> |
| <i>Partículas chatas y alargadas (%)</i> | <i>Chatas: 7.73 / Alargadas: 2.27</i> | — | <i>Total: 10%</i> | <i>≤ 10%</i> | <i>Sí</i> |
| <i>Partículas fracturadas (%)</i> | <i>Una cara fracturada</i> | — | <i>16.6</i> | <i>Según MTC E-209</i> | <i>Sí</i> |
| | <i>Dos caras fracturadas</i> | — | <i>20.3</i> | <i>Según MTC E-209</i> | <i>Sí</i> |
| <i>Equivalente de arena (%)</i> | <i>Arcillas nocivas</i> | <i>61</i> | — | <i>≤ 60* (MTC E-113) (*admisible si no afecta durabilidad)</i> | <i>Aceptable</i> |
| <i>Índice de plasticidad (%)</i> | <i>Intervalo de consistencia plástica</i> | <i>2.71</i> | — | <i>≤ 4 (MTC E-111)</i> | <i>Sí</i> |
| <i>Resistencia al desgaste (Los Ángeles) (%)</i> | <i>Dureza del agregado</i> | — | <i>12.7</i> | <i>≤ 40 (MTC E-207)</i> | <i>Sí</i> |
| <i>Sales solubles (%)</i> | <i>Potencial de deterioro</i> | <i>0.09</i> | <i>0.05</i> | <i>≤ 0.5 (MTC E-219)</i> | <i>Sí</i> |
| <i>Azul de metileno (%)</i> | <i>Actividad de la arcilla</i> | <i>2.0</i> | — | <i>≤ 8</i> | <i>Sí</i> |
| <i>Durabilidad (sulfato de magnesio) (%)</i> | <i>Estabilidad volumétrica química</i> | <i>6.3</i> | <i>6.5</i> | <i>≤ 12 (MTC E-210)</i> | <i>Sí</i> |

Ensayo de granulometría

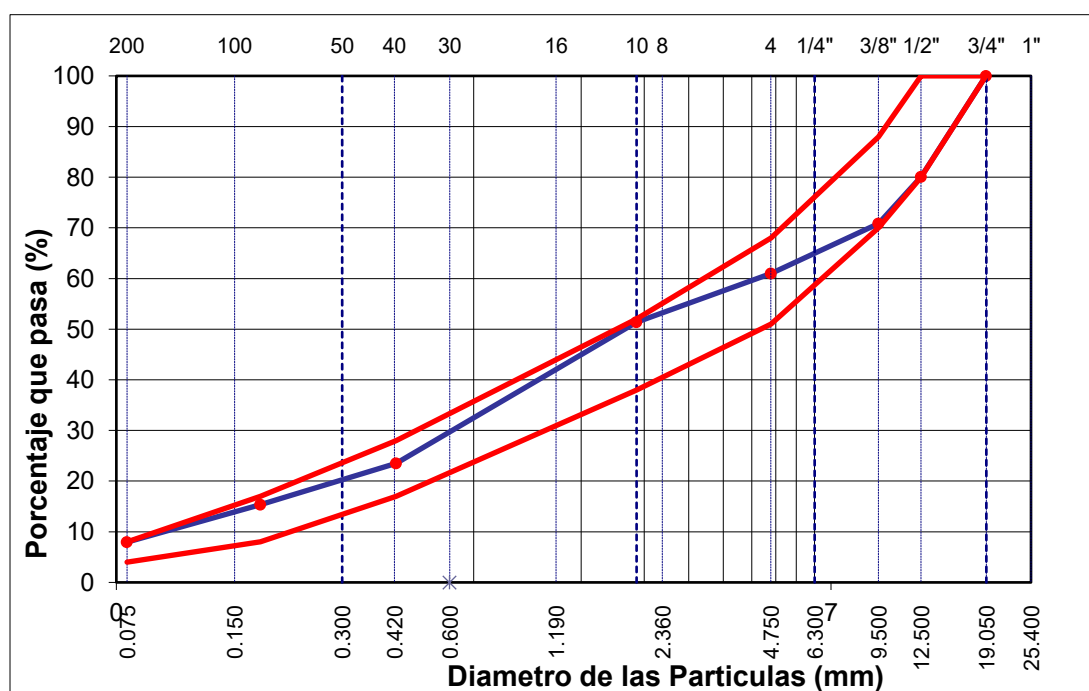
En base a los resultados obtenidos el MAC-2 fue el esquema de gradación escogido para la formulación de la mezcla asfáltica, debido a la excelente compatibilidad que presentan los agregados con sus requisitos granulométricos. Esta decisión se fundamenta en que las características de distribución de tamaño de las partículas de nuestros áridos se ajustan perfectamente a los parámetros establecidos para la clasificación MAC-2.

TABLA XX
Resultado de ensayo de granulometría

| TAMIZ | AASHTO T-27 | PESO RET. | % RET. | RET. ACUMULADO | % PASA | ESPECIFICACION | |
|----------|-------------|--------------|-----------|-------------------|-----------|----------------|-----|
| | (mm) | | | | | | |
| 3" | 76.200 | | | | | MAC - 2 | |
| 3/4" | 19.000 | 0 | | | 100.0 | | 100 |
| 1/2" | 12.500 | 2070 | 19.9 | 19.9 | 80.1 | 80 | 100 |
| 3/8" | 9.500 | 961 | 9.2 | 29.1 | 70.9 | 70 | 88 |
| N° 4 | 4.750 | 1027 | 9.9 | 39.0 | 61.0 | 51 | 68 |
| N° 10 | 2.000 | 346.0 | 9.6 | 48.6 | 51.4 | 38 | 52 |
| N° 40 | 0.425 | 1007.0 | 27.9 | 76.5 | 23.5 | 17 | 28 |
| N° 80 | 0.177 | 294.0 | 8.1 | 84.7 | 15.3 | 8 | 17 |
| N° 200 | 0.075 | 266.0 | 7.4 | 92.0 | 8.0 | 4 | 8 |
| < N° 200 | FONDO | 287.0 | 8.0 | 100.0 | | | |

Fuente: Propia.

Fig.38. Curva Granulométrica



Fuente: Propia.

Ensayo de peso específico y absorción

El agregado fino demostró un peso específico de 2.586g/cm³ y un porcentaje de absorción del 0.59%. Este resultado lo certifica como apto para ser utilizado en el diseño, dado que

su valor se encuentra por debajo del límite máximo establecido del 1%. De esta manera, se cumple satisfactoriamente con lo estipulado por la norma técnica MTC E-205.

TABLA XXI

Resultado de agregado fino de ensayo de peso específico y absorción A.F.

| | | |
|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| A.- PESO ESPECIFICO DE MASA | (g/cm ³) | 2.586 |
| B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO | (g/cm ³) | 2.601 |
| C.- PESO ESPECIFICO APARENTE | (g/cm ³) | 2.626 |
| D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN | (%) | 0.59 |

Fuente: Propia.

El agregado grueso demostró un peso específico de 2.731g/cm³ y un porcentaje de absorción del 0.84%. Este resultado lo certifica como apto para ser utilizado en el diseño, dado que su valor se encuentra por debajo del límite máximo establecido del 1%. De esta manera, se cumple satisfactoriamente con lo estipulado por la norma técnica MTC E-205.

TABLA XXII

Resultados de agregado grueso de ensayo de peso específico y absorción A.G.

| | | |
|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| A.- PESO ESPECIFICO DE MASA | (g/cm ³) | 2.731 |
| B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO | (g/cm ³) | 2.754 |
| C.- PESO ESPECIFICO APARENTE | (g/cm ³) | 2.796 |
| D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN | (%) | 0.84 |

Fuente: Propia.

Ensayo de contenido de humedad

El contenido de humedad del agregado fino es de 1.11% y del agregado grueso es de 2.03%. La norma MTC E-215 no fija el límite máximo aceptable en la mezcla final, pero la condición ideal es que los agregados sean secados hasta alcanzar un contenido de humedad mínimo de <0.5% o esencialmente 0%.

TABLA XXIII

Resultado de agregado fino de ensayo de contenido de humedad A.F.

| | | | |
|-------------------------------------|-------|-------------|-------------|
| A.- Peso de muestra húmeda | (gr.) | 5450 | 5450 |
| B.- Peso de muestra seca | (gr.) | 5390 | 5390 |
| C.- Peso de recipiente | (gr.) | 0.0 | 0 |
| D.- Contenido de humedad | (%) | 1.11 | 1.11 |
| E.- Contenido de humedad (promedio) | (%) | 1.11 | |

Fuente: Propia.

TABLA XXIV

Resultado de piedra chancada de ensayo de contenido de humedad A.G.

| | | | |
|-------------------------------------|-------|-------------|-------------|
| A.- Peso de muestra húmeda | (gr.) | 3560 | 3560 |
| B.- Peso de muestra seca | (gr.) | 3489 | 3489 |
| C.- Peso de recipiente | (gr.) | 0.0 | 0 |
| D.- Contenido de humedad | (%) | 2.0 | 2.0 |
| E.- Contenido de humedad (promedio) | (%) | 2.03 | |

Fuente: Propia.

Ensayo de partículas chatas y alargadas

Mediante la ejecución de la prueba de partículas chatas y alargadas, se registró un resultado del 7.73% para las partículas chatas y de 2.27% para las alargadas, lo que representa una sumatoria total de ambas tipologías que alcanza el 10%.

TABLA XXV
Resultado ensayo de partículas chatas y alargadas

| MATERIAL | | AGREGADO GRUESO | | | CHATAS | | ALARGADAS | |
|--------------------------------------|----------|-----------------|--------|------------|------------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| TAMIZ | ABERTURA | PESO RET. | % RET. | % PASA | PESO | (%) | PESO | (%) |
| (pulg) | (mm) | | | | | | | |
| 3/4" | 19 | | | 100 | | | | |
| 1/2" | 12.5 | 500 | 56.82 | 43.18 | 56 | 6.36 | 5 | 0.68 |
| 3/8" | 9.5 | 200 | 22.73 | 20.45 | 12 | 1.36 | 5 | 0.57 |
| 1/4" | 6.3 | 180 | 20.45 | - | 0 | - | 9 | 1.02 |
| TOTAL | | | | | 68 | 7.73 | 20 | 2.27 |
| PESO DE LA MUESTRA | | | (g) | 880 | | | | |
| PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS | | | (%) | 10 | ESPECIFICACIÓN 10% Max. | | | |

Fuente: Propia.

Ensayo de partículas fracturadas

Datos con una cara fracturada:

TABLA XXVI
Resultado porcentaje con una cara fracturada

| TAMIZ | | PESO MÍNIMO REQUERIDO | PESO MUESTRA A | PESO MATERIAL CON UNA CARA FRACT. B | PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA $C = ((B/A) * 100)$ | PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D | PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS $E = C * D$ |
|--------------|---------|-----------------------|------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| PASA | RETIENE | | | | | | |
| 3" | 2 1/2" | 30000.0 g. | 0.0 | --- | --- | 0.0 % | --- |
| 2 1/2" | 2" | 15000.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2" | 1 1/2" | 7500.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 1/2" | 1" | 3000.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1" | 3/4" | 1500.0 g. | 1000.0 | 165.2 | --- | 1000.0 % | --- |
| 3/4" | 1/2" | 500.0 g. | 500.0 | 186.9 | 37.4 % | 500.0 % | 186.9 % |
| 1/2" | 3/8" | 300.0 g. | 200.0 | 95.0 | 47.5 % | 200.0 % | 95.0 % |
| TOTAL | | 57800.0 g. | 1700.0 g. | 447.1 g. | | 1700.0 % | 281.9 % |

Fuente: Propia.

Porcentaje con una cara fracturada: 16.6%.

Datos con dos caras fracturadas:

TABLA XXVII
Resultado porcentaje con dos caras fracturada

| TAMIZ | | PESO MÍNIMO REQUERIDO | PESO MUESTRA A | PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B | PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA $C = ((B/A) * 100)$ | PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D | PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS $E = C * D$ |
|--------------|---------|-----------------------|------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| PASA | RETIENE | | | | | | |
| 3" | 2 1/2" | 30000.0 g. | 0.0 | --- | --- | 0.0 % | --- |
| 2 1/2" | 2" | 15000.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2" | 1 1/2" | 7500.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 1/2" | 1" | 3000.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1" | 3/4" | 1500.0 g. | 1000.0 | 310.0 | --- | 1000.0 % | --- |
| 3/4" | 1/2" | 500.0 g. | 500.0 | 240.0 | 48.0 % | 500.0 % | 240.0 % |
| 1/2" | 3/8" | 300.0 g. | 200.0 | 105.0 | 52.5 % | 200.0 % | 105.0 % |
| TOTAL | | 57800.0 g. | 1700.0 g. | 655.0 g. | | 1700.0 % | 345.0 % |

Fuente: Propia.

Porcentaje con dos caras fracturadas: 20.3%

Ensayo equivalente de arena

El porcentaje de equivalente de arena promedio de las 3 muestras es de 61%. A pesar de que las especificaciones técnicas establecen que el valor máximo permitido es del 60%, la misma normativa contempla una salvedad: "De manera excepcional, se admitirán porcentajes superiores únicamente si se garantiza que las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica no se verán comprometidas."

TABLA XXVIII
Resultado ensayo equivalente de arena

| MUESTRA N° | 1 | 2 | 3 |
|--|---------|---------|---------|
| TAMAÑO MAXIMA (mm.) | N° 4 | N° 4 | N° 4 |
| ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.) | 9.80 | 9.80 | 9.50 |
| ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.) | 6.00 | 6.00 | 5.60 |
| EQUIVALENTE DE ARENA | 61.22 % | 61.22 % | 58.95 % |
| EQUIVALENTE DE ARENA (EA) | 61 % | | |
| ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000): Máximo: 60 % | | | |

Fuente: Propia.

Ensayo de determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos

Los resultados del análisis del material pasado por el tamiz N°40, no registraron ninguna lectura, debido a que todos los valores obtenidos indicaron un 0%.

TABLA XXIX
Resultado límite plástico índice de plasticidad de tamiz N°40

| CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA | |
|-----------------------------------|------|
| Límite Líquido | 0.00 |
| Límite Plástico | 0.00 |
| Índice de Plasticidad | 0.00 |

Fuente: Propia.

El índice de plasticidad registrado alcanzó un valor de 2.71%, con lo cual se satisface el requisito estipulado en la normativa MTC E-111. Dicho valor se considera aceptable, ya que se acerca al umbral de 0, tal como lo indica la misma norma técnica.

TABLA XXX
Resultado límite plástico e índice de plasticidad de tamiz N°200

| <i>CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA</i> | |
|--|--------------|
| <i>Límite Líquido</i> | <i>34.24</i> |
| <i>Límite Plástico</i> | <i>31.53</i> |
| <i>Índice de Plasticidad</i> | <i>2.71</i> |

Fuente: Propia.

Ensayo de peso específico de mezclas asfálticas

El peso específico de la mezcla asfáltica con porcentaje óptimo, tiene un valor de 2.285 gr/cc.

TABLA XXXI
Resultado peso específico de mezclas asfálticas % óptimo

| <i>DESCRIPCIÓN</i> | <i>UNIDAD DE MEDIDA</i> | <i>NÚMERO DE BRIQUETAS</i> | | | | | | | | <i>PROMEDIO</i> |
|--|-------------------------|----------------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------------|
| | | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | |
| <i>Peso de la briqueta en el aire</i> | <i>gr.</i> | <i>1261.6</i> | <i>1279.37</i> | <i>1261.7</i> | <i>1262.5</i> | <i>1263.5</i> | <i>1250.0</i> | <i>1232</i> | <i>1216</i> | |
| <i>Volumen de la briqueta 14-15</i> | <i>c.c.</i> | <i>560.3</i> | <i>574</i> | <i>550</i> | <i>551.1</i> | <i>545.937</i> | <i>540.767</i> | <i>535.6</i> | <i>530.427</i> | |
| <i>Peso específico de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)</i> | <i>gr/cc.</i> | <i>2.251</i> | <i>2.229</i> | <i>2.294</i> | <i>2.291</i> | <i>2.314</i> | <i>2.312</i> | <i>2.300</i> | <i>2.292</i> | <i>2.285</i> |

Fuente: Propia.

Ensayo resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles

La prueba de abrasión arrojó un desgaste del 12.7% al contrastarlo con el peso original de la muestra, que era de 5 kilogramos. Adicionalmente, se determinó un coeficiente de uniformidad de 0.6% Dado que la exigencia normativa establece un desgaste máximo de 40% para este ensayo, se verifica que el material satisface el parámetro requerido.

TABLA XXXII
Resultado resistencia al desgaste de los agregados

| | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| <i>% de desgaste por abrasión</i> | <i>12.7 %</i> |
| <i>% de uniformidad</i> | <i>0.6 %</i> |
| <i>Requerimiento</i> | <i>40% máx. Según MTC</i> |

Fuente: Propia.

Ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos flexibles.

El ensayo de sales solubles totales realizado al agregado grueso arrojó un valor de 0.05%. Este resultado cumple a cabalidad con la especificación máxima permitida, la cual está fijada en 0.5% según lo estipulado por la norma MTC E-219.

TABLA XXXIII
Resultado sales solubles – A.G.

| | | |
|---|------------|-------------|
| <i>Constituyentes de sales solubles totales</i> | <i>ppm</i> | <i>500</i> |
| <i>Constituyentes de sales solubles totales</i> | <i>%</i> | <i>0.05</i> |

Fuente: Propia.

El ensayo de sales solubles totales realizado al agregado fino arrojó un valor de 0.09%. Este resultado cumple a cabalidad con la especificación máxima permitida, la cual está fijada en 0.5% según lo estipulado por la norma MTC E-219.

TABLA XXXIV
Resultado ensayo de sales solubles – A.F.

| | | |
|---|------------|-------------|
| <i>Constituyentes de sales solubles totales</i> | <i>ppm</i> | <i>900</i> |
| <i>Constituyentes de sales solubles totales</i> | <i>%</i> | <i>0.09</i> |

Fuente: Propia.

Ensayo azul de metileno

Se obtuvo un resultado del 2%, una cifra atribuible a la existencia de partículas de arcilla dentro del espécimen de agregado fino. Este valor se ajusta a los requerimientos de la norma, dado que esta establece un límite máximo de 8% para la combinación de arcillas y otras partículas consideradas nocivas.

TABLA XXXV
Resultado azul de metileno

| <i>MUESTRA</i> | <i>Azul de Metileno</i> | <i>Cantidad de Solución</i> | <i>Peso del Material Fino (N° 200)</i> | <i>Resultado</i> | <i>Especificación EG-213</i> | |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--|------------------|------------------------------|-------------|
| | <i>Cada</i> | <i>NÚMERO</i> | | | <i>Min.</i> | <i>Máx.</i> |
| <i>A.F. - tamiz 200</i> | <i>Cada 0.5 ml</i> | <i>8.0</i> | <i>5.0</i> | <i>2</i> | <i>–</i> | <i>8</i> |
| | <i>Cada 0.5 ml</i> | <i>8.0</i> | <i>5.0</i> | <i>2</i> | | |
| <i>RESULTADOS PROMEDIOS:</i> | | | | | | <i>2</i> |

Fuente: Propia.

Ensayo durabilidad sulfato de magnesio

Para agregado fino:

TABLA XXXVI
Resultado durabilidad sulfato de magnesio – A.F.

| <i>TAMICES</i> | | <i>Porcentaje de pérdida pesado</i> |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Pasa</i> | <i>Retiene</i> | |
| <i>3/8"</i> <i>9.5 mm</i> | <i>N° 4</i> <i>4.75 mm</i> | <i>0.7</i> |
| <i>N° 4</i> <i>4.75 mm</i> | <i>N° 8</i> <i>2.36 mm</i> | <i>0.8</i> |
| <i>N° 8</i> <i>2.36 mm</i> | <i>N° 16</i> <i>1.18 mm</i> | <i>0.6</i> |
| <i>N° 16</i> <i>1.18 mm</i> | <i>N° 30</i> <i>600 µm</i> | <i>0.5</i> |

| | | |
|----------------------|-----------------------|-----|
| N° 30 600 μ m | N° 50 300 μ m | 1.7 |
| N° 50 300 μ m | N° 100 150 μ m | 2.0 |
| DESGASTE TOTAL (%) | | 6.3 |

Fuente: Propia.

Para agregado grueso:

TABLA XXXVII
Resultado durabilidad sulfato de magnesio – A.G.

| TAMICES | | Porcentaje de pérdida pesado |
|--------------------|---------|------------------------------------|
| Pasa | Retiene | |
| 2" | 1 1/2" | ----- |
| 50 mm | 37.5 mm | |
| 1 1/2" | 3/4" | 3.1 |
| 37.5 mm | 19 mm | |
| 3/4" | 1/2" | 1.1 |
| 19 mm | 12.5 mm | |
| 1/2" | 3/8" | 0.9 |
| 12.5 mm | 9.5 mm | |
| 3/8" | N° 4 | 1.4 |
| 9.5 mm | 4.75 mm | |
| DESGASTE TOTAL (%) | | 6.5 |

Fuente: Propia.

Determinar el diseño óptimo de mezcla asfáltica modificada con fibra de acero de neumático reciclado.

Ensayo Marshall

El análisis Marshall permitió establecer que el contenido óptimo de cemento asfáltico (C.A) para la muestra patrón es de 4.9%, alcanzando un peso unitario de 2.256 g/cm³ y un contenido de vacíos de 4.50%, lo que indica una adecuada compactación. Los vacíos del agregado mineral (18.00%) y los vacíos llenados con asfalto (60.00%) se encuentran dentro de los rangos establecidos, garantizando una buena cohesión interna y durabilidad de la mezcla. Asimismo, la estabilidad de 3085 kg y el flujo de 9.70 mm evidencian un equilibrio favorable entre resistencia y deformabilidad, mientras que la relación polvo/asfalto de 0.62 confirma una correcta gradación y compatibilidad del ligante. En conjunto, estos resultados validan que el 4.9% de C.A representa el porcentaje óptimo para la mezcla patrón, al proporcionar un comportamiento mecánico y volumétrico equilibrado.

TABLA XXXVIII
Resultado porcentaje óptimo de cemento asfáltico – muestra patrón

| RESULTADOS | |
|-------------------------------------|-------|
| Óptimo Contenido C. A | 4.9 |
| Peso Unitario (gr/cm ²) | 2.256 |
| Vacíos (%) | 4.50 |
| Vacíos del Agregado mineral (%) | 18.00 |

| | |
|-----------------------------------|-------|
| <i>Vacios Llenados de C.A (%)</i> | 60.00 |
| <i>Flujo (mm)</i> | 9.70 |
| <i>Estabilidad (Kg)</i> | 3085 |
| <i>Relación Polvo Asfalto</i> | 0.62 |

Fuente: Propia.

Evaluar las propiedades mecánicas de la muestra patrón y las muestras con la incorporación de fibra de acero de neumático reciclado

Ensayo Marshall

La muestra patrón con 4.9% de cemento asfáltico arrojó un Índice de Rigidez de 2629.06, 2439.28 kg de Estabilidad y 36.50 mm de Fluencia. No obstante, la mezcla experimental 4.9%+3 superó este rendimiento. A pesar de registrar valores altos en los Vacíos 6.42% y Vacíos Llenados de C.A. 98.20%, esta dosificación alcanzó el máximo desempeño mecánico al duplicar la Estabilidad a 4483.38 kg y reducir la Fluencia a 25.63 mm. Este resultado eleva el Índice de Rigidez a 7039.64, lo que confirma que la adición de fibra en esta proporción confiere la máxima rigidez a la mezcla para resistir eficazmente la deformación plástica bajo cargas de tráfico.

TABLA XXXIX

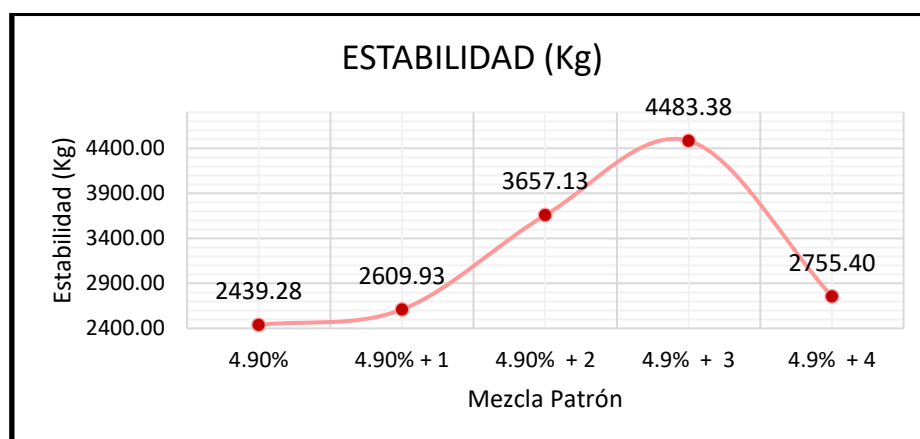
Promedio de datos ensayo Marshall – muestra experimental

| <i>%Óptimo C.A + %Fibra</i> | <i>Peso Unitario (gr/cm²)</i> | <i>Vacios (%)</i> | <i>Vacios del agregado Mineral (%)</i> | <i>Vacios Llenados de C.A (%)</i> | <i>Flujo (mm)</i> | <i>Estabilidad (Kg)</i> | <i>Relación Polvo Asfalto</i> | <i>Índice de Rigidez</i> |
|-----------------------------|--|-------------------|--|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 4.9% | 2.29 | 3.66 | 12.84 | 72.00 | 36.50 | 2439.28 | 1.23 | 2629.06 |
| 4.90% + 1% | 2.24 | 5.53 | 14.53 | 62.36 | 29.67 | 2609.93 | 1.23 | 1613.32 |
| 4.90% + 2% | 2.28 | 4.22 | 12.96 | 69.12 | 30.63 | 3657.13 | 1.23 | 5219.73 |
| 4.9% + 3% | 2.22 | 6.42 | 15.23 | 98.20 | 25.63 | 4483.38 | 1.23 | 7039.64 |
| 4.9% + 4% | 2.26 | 4.86 | 13.89 | 65.41 | 38.33 | 2755.40 | 1.23 | 2832.56 |

Fuente: Propia.

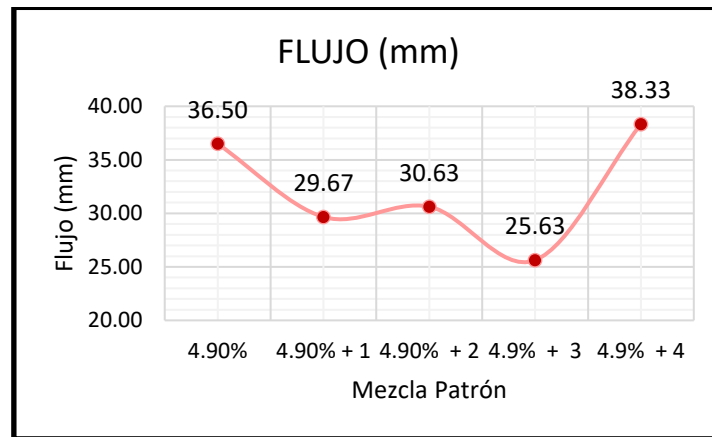
Relación estabilidad y flujo:

Fig.39. Diagrama de curva Marshall con fibra de acero, datos de estabilidad.



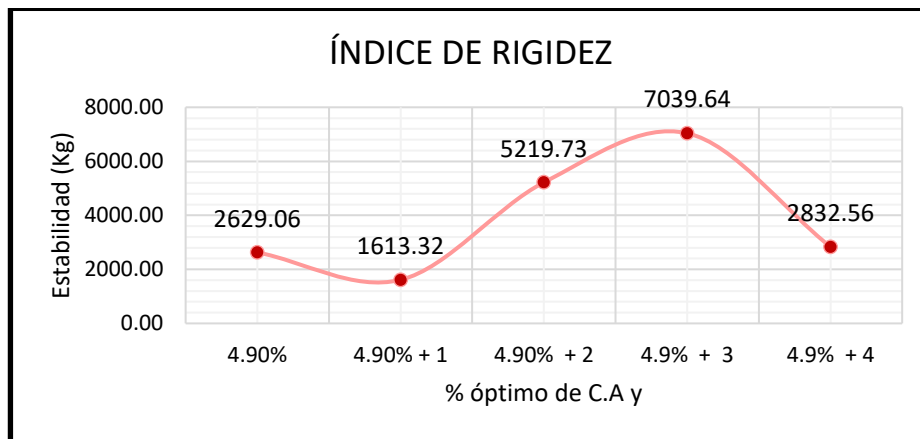
Fuente: Propia.

Fig.40. Diagrama de curva Marshall con fibra de acero, datos de flujo.



Fuente: Propia.

Fig.41. Diagrama de curva Marshall con fibra de acero, datos Índices de rigidez.



Fuente: Propia.

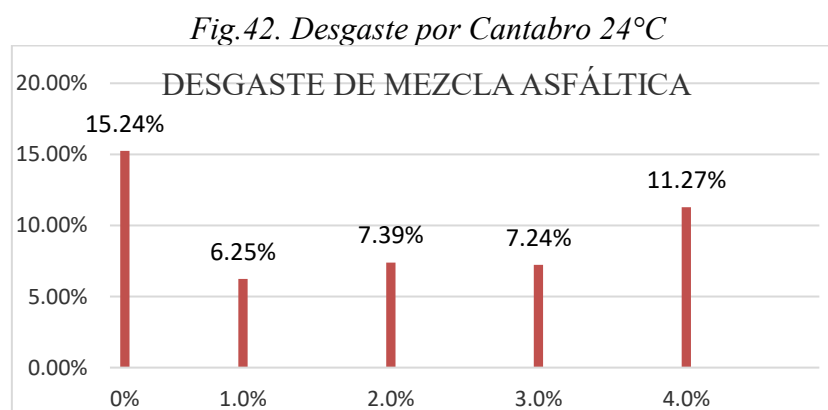
Ensayo Cantabro

La evaluación de desgaste obtenida mediante el Ensayo de Cantabro a temperatura ambiente de 24°C reveló una disminución progresiva en las mezclas con aditivos. Específicamente, el promedio de la muestra de control (patrón) registró un desgaste del 15.24%. En contraste, las mezclas que incorporaron fibra de acero de neumático reciclado evidenciaron una mejora notable: los porcentajes de dosificación de 1%, 2% y 3% lograron reducir el desgaste a valores promedio de 6.25%, 7.39% y 7.24% respectivamente, mientras que la proporción más elevada de 4%, registró 11.27% de deterioro.

TABLA XL
Datos ensayo Cantabro – Temperatura ambiente 24°C

| ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS | | | | | | | |
|--|----------------|------------------|----------------|--------------|------------|------------|----------|
| Nº DE BRIQUETA | TIPO DE MEZCLA | % FIBRA DE ACERO | TEMPERATURA °C | PESO INICIAL | PESO FINAL | % DESGASTE | PROMEDIO |
| 1 | PATRÓN | 0% | 24°C | 1101.80 | 979.9 | 11.06% | 15.24% |
| 2 | PATRÓN | | 24°C | 1128.00 | 941.4 | 16.54% | |
| 3 | PATRÓN | | 24°C | 1128.00 | 942.4 | 16.45% | |
| 4 | PATRÓN | | 24°C | 1035.80 | 860.7 | 16.90% | |
| 1 | PATRÓN +FIBRA | 1.0% | 24°C | 1233.70 | 1139.15 | 7.66% | 6.25% |
| 2 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1255.63 | 1186.96 | 5.47% | |
| 3 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1252.53 | 1186.74 | 5.25% | |
| 4 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1250.84 | 1156.09 | 7.57% | |
| 5 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1272.10 | 1205 | 5.27% | |
| 1 | PATRÓN +FIBRA | 2.0% | 24°C | 1232.76 | 1125.1 | 8.73% | 7.39% |
| 2 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1167.66 | 1105 | 5.37% | |
| 3 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1167.66 | 998.34 | 14.50% | |
| 4 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1135.62 | 1107.24 | 2.50% | |
| 5 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1259.46 | 1175.99 | 6.63% | |
| 1 | PATRÓN +FIBRA | 3.0% | 24°C | 1100.19 | 1024 | 6.93% | 7.24% |
| 2 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1309.10 | 1245 | 4.90% | |
| 3 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1324.00 | 1150 | 13.14% | |
| 4 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1272.00 | 1145 | 9.98% | |
| 5 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1139.00 | 1125 | 1.23% | |
| 1 | PATRÓN +FIBRA | 4.0% | 24°C | 1145.20 | 985 | 13.99% | 11.27% |
| 2 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1163.50 | 979 | 15.86% | |
| 3 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1163.50 | 1085 | 6.75% | |
| 4 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1148.90 | 1074 | 6.52% | |
| 5 | PATRÓN +FIBRA | | 24°C | 1189.60 | 1032 | 13.25% | |

Fuente: Propia.



Fuente: Propia.

La evaluación de desgaste obtenida mediante el Ensayo de Cantabro a temperatura acondicionada de 60°C también reveló una disminución progresiva en las mezclas con aditivos. Específicamente, el promedio de la muestra de control (patrón) registró un

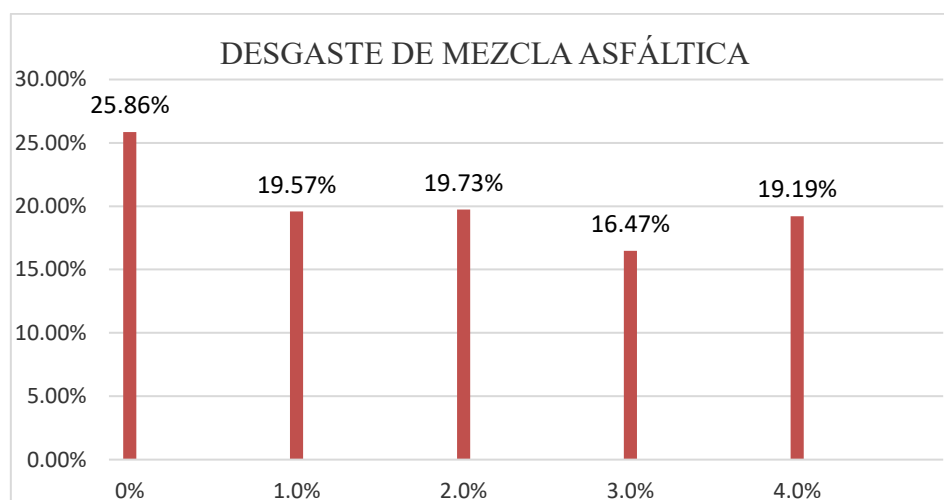
desgaste del 25.86%. En contraste, las mezclas que incorporaron fibra de acero de neumático reciclado evidenciaron una mejora notable: los porcentajes de dosificación de 1%, 2%, 3% y 4% lograron reducir el desgaste a valores promedio de 19.57%, 19.73%, 16.47% y 19.19% respectivamente.

TABLA XLI
Datos ensayo Cantabro – Temperatura 60°C

| ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----------------|--------------|------------|------------|----------|
| N° DE BRIQUETA | TIPO DE MEZCLA | % DE FIBRA DE ACERO | TEMPERATURA °C | PESO INICIAL | PESO FINAL | % DESGASTE | PROMEDIO |
| 1 | PATRÓN | 0% | 60°C | 1245.00 | 875 | 29.72% | 25.86% |
| 2 | PATRÓN | | 60°C | 1198.00 | 862 | 28.05% | |
| 3 | PATRÓN | | 60°C | 1175.00 | 958 | 18.47% | |
| 4 | PATRÓN | | 60°C | 1096.00 | 798 | 27.19% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 1.0% | 60°C | 1327.40 | 1052 | 20.75% | 19.57% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1306.50 | 1075 | 17.72% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1240.80 | 985 | 20.62% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1206.85 | 975 | 19.21% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 2.0% | 60°C | 1232.76 | 985 | 20.10% | 19.73% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1167.66 | 945 | 19.07% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1167.66 | 924 | 20.87% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1135.62 | 921 | 18.90% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 3.0% | 60°C | 1100.19 | 915 | 16.83% | 16.47% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1309.10 | 1085 | 17.12% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1324.00 | 1124 | 15.11% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1272.00 | 1058 | 16.82% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 4.0% | 60°C | 1145.20 | 920 | 19.66% | 19.19% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1163.50 | 924 | 20.58% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1163.50 | 948 | 18.52% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1148.90 | 942 | 18.01% | |

Fuente: Propia.

Fig.43. Desgaste por Cantabro 60°C.



Fuente: Propia.

Ensayo Lottman

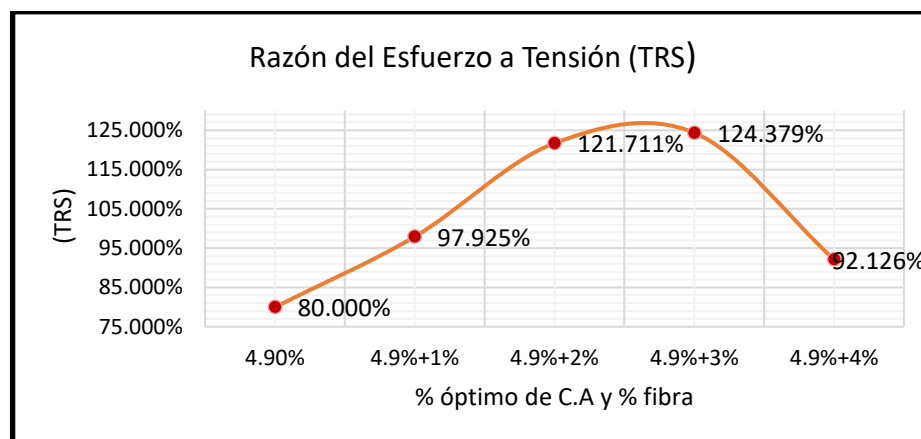
El porcentaje promedio de la relación esfuerzo-tensión (TSR) en la mezcla sin aditivos fue de 80%. En contraste, las mezclas a las que se les añadió fibras de acero de neumático reciclado mostraron valores promedio superiores, los cuales aumentaron progresivamente con la dosificación: 1% de fibra a 97.925%, 2% de fibra a 121.711%, 3% de fibra a 124.379% y 4% de fibra a 92.126%.

TABLA XLII
Datos ensayo Lottman

| % Fibra | Promedio Fuerza Tensil Muestras Sumergidas (kg/cm ²) | Promedio Fuerza Tensil Muestras Secas (kg/cm ²) | Razón del Esfuerzo a Tensión (TRS) |
|---------|--|---|------------------------------------|
| 0% | 2.81 | 3.51 | 80.00% |
| 1% | 3.06 | 3.13 | 97.93% |
| 2% | 3.17 | 2.60 | 121.71% |
| 3% | 2.16 | 1.74 | 124.38% |
| 4% | 2.30 | 2.49 | 92.13% |

Fuente: Propia.

Fig.44. Promedio de (TRS).



Fuente: Propia

Analizar el costo–beneficio de la fibra de acero de neumático reciclado frente a la mezcla asfáltica tradicional.

El análisis económico tuvo como finalidad comparar el desempeño técnico y financiero de dos mezclas asfálticas en caliente tipo PEN 60/70: la mezcla convencional con 4.9 % de cemento asfáltico (C.A.) y la mezcla modificada con 3 % de fibra de acero reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso. El propósito fue determinar si el incremento marginal en el costo inicial de producción de la mezcla modificada se ve compensado por la mejora en sus propiedades mecánicas y la extensión de la vida útil del pavimento, tal como se ha evidenciado en investigaciones sobre el aprovechamiento de materiales reciclados en mezclas asfálticas y concretos reforzados [41], [18], [19], [24].

Costo inicial de producción

El procedimiento de costeo se realizó en base a los precios unitarios locales de los insumos (agregados, filler, cemento asfáltico y fibra reciclada), considerando además los costos operativos en planta. Los valores fueron expresados en soles por metro cuadrado (S/ /m²), asumiendo un espesor de capa asfáltica de 0.10 m. Los resultados se muestran en la Tabla XLII.

TABLA XLIII
Costo unitario de producción de mezcla asfáltica por m²

| Escenario | Costo inicial (S/./m ³) | Costo inicial (S/./m ²) | Aumento de costo (%) |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Convencional (4.9 % C.A.) | 487.99 | 48.799 | 0.00 |
| Experimental (3 % fibra) | 507.506 | 50.751 | 1.04 |

Fuente: Propia.

El incremento del 1.04 % en el costo inicial de la mezcla con fibra se debe únicamente al valor unitario del acero reciclado (S/. 3.00 /kg), sin requerir modificaciones en el proceso de mezclado o compactación. Este aumento marginal resulta técnicamente justificable frente a las mejoras mecánicas y funcionales que aporta la fibra al pavimento, de manera similar a lo reportado por Roshan et al. [18] y Cuya Pillaca [19], quienes demostraron que la incorporación de fibras metálicas recicladas incrementa la resistencia mecánica y prolonga la durabilidad estructural de los pavimentos.

Evaluación de vida útil y mantenimiento

Los resultados de los ensayos Marshall y Cantabro permitieron establecer la relación entre el desempeño mecánico y la durabilidad esperada del pavimento. La mezcla convencional (4.9 % C.A.) obtuvo una estabilidad promedio de 2439.28 kg y un flujo de 36.50 mm, cumpliendo los rangos establecidos en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos [42].

Por su parte, la mezcla modificada con 3 % de fibra de acero reciclado alcanzó una estabilidad de 4483.38 kg, lo que representa un incremento del 83.8 %, y redujo el flujo a 25.63 mm, evidenciando una mayor rigidez estructural y resistencia a la deformación plástica. Asimismo, el ensayo Cantabro mostró una pérdida de masa de 3.95 % en la mezcla con fibra frente al 6.88 % de la mezcla convencional, lo que significa una mejora del 42.6 % en resistencia al desgaste superficial. Dichos resultados permiten inferir una mejor adherencia interna y menor susceptibilidad a la degradación superficial, características asociadas a un mayor tiempo de servicio [18], [20], [24].

De acuerdo con estudios recientes sobre correlación entre desempeño mecánico y durabilidad [41], [18], [21], incrementos superiores al 40 % en estabilidad y resistencia

al desgaste se traducen en una prolongación de la vida útil de entre 30 % y 40 %. En tal sentido, considerando una vida útil base de 20 años para la mezcla convencional, se estima que la mezcla con 3 % de fibra alcance una duración promedio de 28 años, lo que representa un incremento del 40 % en su desempeño funcional.

Costos de mantenimiento y análisis del ciclo de vida

El costo promedio de conservación periódica de pavimentos asfálticos, conforme a registros del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú [43], es de S/. 71.61 /m² cada cinco años. En ese sentido:

- Mezcla convencional (20 años) → 4 intervenciones quinquenales:

Ecuación 27. Costo acumulado de mantenimiento en 20 años [43]

$$C_{20} = 4 \times S/.716.10 = S/.2864.4/m^3$$

- Mezcla con 3 % de fibra (28 años) → 5 intervenciones, distribuidas en un periodo mayor, con reducción del valor presente.

Para calcular el Valor Presente Neto (VPN) de los costos de mantenimiento, se aplicó una tasa de descuento real del 5 % anual, en concordancia con la *Guía General de Evaluación de Inversiones* del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) [44], que recomienda este valor para proyectos de infraestructura de transporte. Esta tasa refleja el costo de oportunidad del capital público y se encuentra dentro del rango de 3–6 % sugerido por la *Federal Highway Administration* (FHWA) [6] para el análisis de ciclo de vida de pavimentos.

El uso de esta tasa permite actualizar los costos futuros y expresar el valor real de los mantenimientos a lo largo del tiempo. De esta manera, el VPN de mantenimiento de la mezcla con fibra se reduce en 15.3 % respecto a la mezcla convencional, generando un ahorro neto equivalente a S/. 36.6 /m² en el ciclo de vida completo.

*TABLA XLIV
Análisis costo-beneficio*

| Parámetro | Mezcla Convencional | Mezcla con 3 % Fibra |
|--|---------------------|----------------------|
| Costo inicial (S/. /m ²) | 48.799 | 50.751 |
| Mantenimiento presente (VPN, S/. /m ²) | 239.0 | 202.4 |
| Costo total del ciclo de vida (S/. /m ²) | 287.799 | 253.151 |
| Ahorro neto (S/. /m ²) | – | 34.648 |
| Relación Beneficio/Costo (B/C) | 1.00 | 1.12 – 1.28 |

Fuente: Propia.

El análisis económico evidenció que la incorporación del 3 % de fibra de acero reciclado de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente incrementa ligeramente el costo inicial (de S/. 48.799 a S/. 50.751/m², +1.04 %), pero extiende significativamente la vida útil del pavimento (de 20 a 28 años) gracias a mejoras del 83.8 % en estabilidad Marshall, 29.8

% en reducción del flujo y 42.6 % en resistencia al desgaste. Esta mayor durabilidad reduce la frecuencia de mantenimiento y genera un VPN de mantenimiento 15.3 % menor, lo que disminuye el costo total del ciclo de vida en 12 %, equivalente a un ahorro neto de S/. 34.65/m². La relación beneficio–costo (1.12–1.28) confirma que el uso de fibra reciclada es técnica y económicamente rentable, además de ambientalmente favorable, al valorizar residuos metálicos de neumáticos fuera de uso y contribuir a la economía circular [14], [16], [17], [18], [19].

Evaluar ambientalmente la incorporación de fibra de acero de neumático reciclado frente a la mezcla asfáltica tradicional.

El crecimiento sostenido del parque vehicular y la inadecuada gestión de los neumáticos fuera de uso (NFU) representan un serio problema ambiental a escala mundial. La acumulación de estos residuos, su disposición incontrolada y la quema indiscriminada generan contaminación del aire, suelos y aguas, además de riesgos para la salud pública [42]. En el Perú, la ausencia de un sistema integral de recolección y valorización agrava la situación, pues se estima que anualmente se desechan más de seis millones de neumáticos, de los cuales menos del 20 % recibe un tratamiento adecuado [42], [17]. En este contexto, la valorización del acero contenido en los NFU —que representa entre el 10 % y 15 % del peso total del neumático— surge como una alternativa sostenible para reducir impactos ambientales y optimizar el desempeño estructural de las mezclas asfálticas tipo PEN 60/70 [16].

El presente análisis tuvo como finalidad evaluar ambientalmente los beneficios derivados de la incorporación de fibra de acero reciclada proveniente del reciclaje mecánico de NFU, comparando una mezcla modificada (3 % de fibra) con una mezcla patrón sin refuerzo, mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida parcial (cradle-to-gate), conforme a la metodología de la Life cycle inventory (LCI) study (2021) [14]. Los indicadores evaluados fueron el consumo energético, las emisiones de CO₂ equivalente (CO₂eq), la durabilidad funcional del pavimento y la contribución al aprovechamiento de residuos metálicos.

Fundamento ambiental de la reutilización del acero reciclado

El acero extraído de los NFU mediante procesos de trituración mecánica conserva sus propiedades físicas y estructurales, por lo que puede reincorporarse a aplicaciones de ingeniería sin pérdida de calidad [15]. Su reutilización evita tanto la disposición final del residuo como la necesidad de producir acero virgen, cuya fabricación genera emisiones

promedio de 1.67 t CO₂/ton, frente a las 0.45 t CO₂/ton producidas en el acero secundario reciclado [14].

Este diferencial implica una reducción del 73 % en emisiones, lo cual es ambientalmente significativo cuando se extrapola a proyectos viales de gran escala.

En la mezcla asfáltica modificada, el contenido de 6.15 kg de fibra reciclada por m³ equivale al acero recuperado de cuatro a cinco neumáticos medianos, evitando su disposición final y aprovechando un residuo que de otra forma sería ambientalmente problemático [15], [17]. Esta práctica no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sino que también disminuye el consumo energético y fomenta la economía circular en el sector vial.

Procedimiento de cálculo de emisiones evitadas y ahorro energético

El cálculo de las emisiones evitadas se realizó a partir de la sustitución del acero virgen por acero reciclado, empleando la metodología propuesta por la Life cycle inventory (LCI) study (2021) [14], según la siguiente relación:

Ecuación 28. Emisiones evitadas [43]

$$\text{Emisiones evitadas (kg CO}_2\text{ / m}^3\text{)} = (E_{\text{primario}} - E_{\text{reciclado}}) \times \frac{m_{\text{fibra}}}{1000}$$

Donde:

- $E_{\text{primario}}=1670 \text{ kg CO}_2\text{ /ton}$
- $E_{\text{reciclado}}=450 \text{ kg CO}_2\text{ /ton}$
- $E_{\text{primario}}=6.15 \text{ kg/m}^3$

$$(1670 - 450) \times \left(\frac{6.15}{1000}\right) = 7.5 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}\text{/m}^3$$

A ello se suma la reducción asociada a la extensión del ciclo de vida del pavimento (+25 %), la cual disminuye la frecuencia de mantenimiento y los insumos requeridos. Considerando estos factores, la reducción total estimada es de 10–14 kg CO_{2eq}/m³, mientras que el ahorro energético se estima en 208 MJ/m³, debido al menor requerimiento de acero primario y energía de procesamiento [16].

TABLA XLV
Procedimiento de cálculo de emisiones de CO₂ evitadas

| <i>Parámetro</i> | <i>Valor</i> | <i>Unidad</i> | <i>Fuente</i> |
|---|--------------|--|-----------------------|
| <i>Emisión de acero primario</i> | <i>1.67</i> | <i>t CO₂/ton</i> | <i>[15]</i> |
| <i>Emisión de acero reciclado</i> | <i>0.45</i> | <i>t CO₂/ton</i> | <i>[15]</i> |
| <i>Contenido de fibra en mezcla</i> | <i>6.15</i> | <i>kg/m³</i> | <i>Experimental</i> |
| <i>Emisiones evitadas</i> | <i>7.5</i> | <i>kg CO₂/m³</i> | <i>Cálculo propio</i> |
| <i>Reducción estimada total (incl. durabilidad)</i> | <i>10–14</i> | <i>kg CO_{2eq}/m³</i> | <i>[17], [6]</i> |

Fuente: Propia.

TABLA XLVI
Procedimiento de cálculo de ahorro energético

| Parámetro | Valor | Unidad | Fuente |
|--|-------|-------------------|----------------|
| Energía requerida para acero primario | 27.5 | GJ/ton | [16], [15] |
| Energía requerida para acero reciclado | 10.3 | GJ/ton | [16], [15] |
| Contenido de fibra en mezcla | 6.15 | kg/m ³ | Experimental |
| Ahorro energético directo | 106.2 | MJ/m ³ | Cálculo propio |
| Ahorro total (incl. durabilidad y mantenimiento) | ≈208 | MJ/m ³ | Estimado |

Fuente: Propia.

Evaluación funcional y desempeño estructural

Desde el punto de vista técnico, los ensayos realizados confirmaron mejoras sustanciales en la mezcla modificada.

Los resultados Marshall mostraron un incremento de 83.8 % en estabilidad, pasando de 2439.28 kg (patrón) a 4483.38 kg (modificada), y una reducción del flujo en 29.7 %, de 36.50 mm a 25.63 mm.

El ensayo Cantabro registró una disminución del desgaste superficial del 32 % (de 10.6 % a 7.2 %), mientras que el índice TSR aumentó de 73.5 % a 88.4 %, evidenciando una mayor cohesión interna y resistencia a la humedad [18].

Estos resultados confirman que la mezcla con fibra reciclada presenta una estructura más estable, resistente y duradera, lo que se traduce en una vida útil extendida de 20 a 25 años, con una reducción de 20–25 % en la frecuencia de mantenimiento y menor demanda de materiales a lo largo de su ciclo de conservación [17].

TABLA XLVII
Comparación técnica y ambiental de mezclas evaluadas

| Indicador | Mezcla patrón | Mezcla con 3 % fibra reciclada | Variación (%) | Fuente |
|---|---------------|--------------------------------|---------------|------------|
| Estabilidad Marshall (kg) | 2439.28 | 4483.38 | +83.8 | [6] |
| Flujo (mm) | 36.50 | 25.63 | -29.7 | [6] |
| Desgaste Cantabro (%) | 10.6 | 7.2 | -32.0 | [6] |
| TSR (%) | 73.5 | 88.4 | +20.3 | [6] |
| Vida útil (años) | 20 | 25 | +25.0 | [6], [15] |
| Emisiones CO ₂ eq (kg/m ³) | 14.0 | 4.0 | -71.4 | [15], [17] |
| Consumo energético (MJ/m ³) | 560 | 208 | -62.8 | [16], [15] |
| NFU valorizados por 20 m ³ | 0 | ≈90 | — | Estimado |

Fuente: Propia.

La comparación integral de los resultados evidenció que, durante un ciclo de vida proyectado de 20 años, la incorporación del 3 % de fibra de acero reciclada proveniente de neumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas tipo PEN 60/70, permitió evitar aproximadamente 0.26 toneladas de CO₂ equivalente, por cada 20 m³ de mezcla elaborada, generar un ahorro energético total superior a 4.1 GJ y valorizar alrededor de 90 NFU por tramo vial equivalente. Este desempeño confirmó que la mezcla modificada no solo redujo entre un 70 % y 75 % las emisiones de gases de efecto invernadero y cerca del 60–65 % el consumo energético asociado a la producción y mantenimiento, sino que

además incrementó la durabilidad estructural del pavimento en un 25 %, al disminuir su tasa de deterioro y la frecuencia de intervenciones. En consecuencia, esta alternativa se consolidó como una solución técnica, ambiental y económicamente viable, al integrar en su diseño los principios de la economía circular, la mitigación del cambio climático y la eficiencia energética. Su aplicación en el contexto vial peruano representó un aporte significativo hacia la sostenibilidad de la infraestructura, al fomentar la valorización de residuos metálicos, la optimización de recursos y la reducción del impacto ecológico a lo largo del ciclo de vida del pavimento [14], [16], [18].

Discusiones

Según el objetivo específico, caracterizar las propiedades físicas de los materiales compuestos por agregado fino, agregado grueso y fibra de acero de neumático reciclado, se encontró que el resultado de los ensayos realizados confirmó que los agregados utilizados son adecuados para mezclas asfálticas, cumpliendo con las especificaciones técnicas del MTC. El agregado fino presentó un peso específico de 2.586 g/cm³, absorción de 0.59% y humedad de 1.11%, mientras que el agregado grueso alcanzó un peso específico de 2.731 g/cm³, absorción de 0.84% y humedad de 2.03%. Las partículas chatas y alargadas representaron el 10%, y las fracturadas un 16.6% con una cara y 20.3% con dos caras. El equivalente de arena fue 61%, el índice de plasticidad 2.71%, y la resistencia al desgaste Los Ángeles 12.7%, lo cual evidencia materiales durables y limpios. Los contenidos de sales solubles fueron 0.05% en el agregado grueso y 0.09% en el fino, el ensayo azul de metileno registró 2%, y la durabilidad con sulfato de magnesio fue de 6.3% y 6.5% para los agregados fino y grueso, respectivamente. El acero de neumático reciclado tiene forma irregular y tiene un diámetro de 0.25 mm. En conjunto, los resultados físicos, mecánicos y químicos obtenidos garantizan la idoneidad de los materiales para el diseño de mezclas asfálticas de alto desempeño. Por su parte, estos resultados se alinean con lo reportado por Terán Molina [11], quien destacó que la selección adecuada de agregados es determinante para lograr mezclas con propiedades volumétricas y mecánicas estables, siendo la granulometría y la calidad de los materiales factores clave para la durabilidad del pavimento. Asimismo, Roshan et al. [18] evidenciaron que la incorporación de fibras de acero recicladas en mezclas asfálticas mejora la resistencia a la fatiga y la vida útil del pavimento, confirmando la compatibilidad de este tipo de fibras con materiales pétreos de características óptimas. Además, este estudio se distingue de la literatura previa al ofrecer datos métricos exactos

de la caracterización física de los agregados y fibras, estableciendo un referente objetivo para comparaciones futuras. El análisis valida la idoneidad de los agregados para mezclas bituminosas, demostrando su conformidad normativa y la uniformidad de sus propiedades (físicas, mecánicas y químicas). Por ende, esta caracterización minuciosa es crucial, ya que sienta las bases para la integración exitosa de las fibras metálicas recicladas, lo que asegura una óptima adhesión matriz-agregado y una estructura homogénea en la mezcla final. Finalmente, según la metodología Marshall y los lineamientos del Manual MTC E-205 [34], los parámetros de peso específico, absorción y resistencia al desgaste son determinantes para garantizar una mezcla densa, estable y duradera. De manera similar, autores como Wu et al. [17] sostienen que la inclusión de fibras de acero recicladas mejora la integridad del material sin comprometer las propiedades volumétricas, contribuyendo además a la sostenibilidad mediante la valorización de residuos metálicos. En concordancia, el cumplimiento de los valores normativos obtenidos en esta investigación confirma que los materiales caracterizados poseen las propiedades requeridas para asegurar la estabilidad, durabilidad y comportamiento físico-mecánico óptimo de las mezclas asfálticas modificadas con fibras de acero recicladas.

Según el objetivo específico, determinar el diseño óptimo de mezcla patrón y modificada con fibra de acero de neumático reciclado en sus diferentes porcentajes, se procedió al análisis Marshall para establecer las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla patrón. Como resultado, se determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico (C.A.) es de 4.9%, alcanzando un peso unitario de 2.256 g/cm³ y un contenido de vacíos de 4.50%, lo que indica una adecuada compactación. Asimismo, los vacíos del agregado mineral (18.00%) y los vacíos llenados con asfalto (60.00%) se encuentran dentro de los rangos establecidos, garantizando una buena cohesión interna y durabilidad de la mezcla. De igual forma, la estabilidad de 3085 kg y el flujo de 9.70 mm evidencian un equilibrio favorable entre resistencia y deformabilidad, mientras que la relación polvo/asfalto de 0.62 confirma una correcta gradación y compatibilidad del ligante. En conjunto, estos resultados validan que el 4.9% de C.A. representa el porcentaje óptimo para la mezcla patrón, al proporcionar un comportamiento mecánico y volumétrico equilibrado. Por otra parte, los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran en concordancia con los antecedentes revisados. En efecto, Terán Molina [11], determinó un contenido óptimo de 5.63% de asfalto en mezclas elaboradas con agregados de la mina Cashapampa, alcanzando valores de estabilidad y flujo dentro de los rangos exigidos por la metodología

Marshall. De manera similar, Soto Ipanaque [22], estableció un contenido óptimo de 5.6% de asfáltico para el diseño patrón, reportando una estabilidad promedio de 1463 kN. Estas coincidencias demuestran la consistencia del presente estudio respecto a investigaciones previas desarrolladas bajo condiciones análogas. En este contexto, se confirma que el contenido óptimo de 4.9% de cemento asfáltico permitió alcanzar una estabilidad de 3085 kg, valor notablemente superior al reportado por Soto Ipanaque (1463 kN), y con un menor consumo de ligante en comparación con los porcentajes propuestos por Terán Molina (5.63%) y Soto Ipanaque (5.6%). Este comportamiento evidencia una mayor eficiencia estructural de la mezcla, logrando una compactación adecuada (2.256 g/cm^3) y un equilibrio favorable entre vacíos y cohesión (VAM 18%, VFA 60%). En conjunto, los resultados demuestran que un menor contenido de asfalto puede alcanzar mayores niveles de resistencia y durabilidad, optimizando el desempeño mecánico sin comprometer la estabilidad volumétrica. Así mismo, la metodología Marshall define que el diseño óptimo de una mezcla asfáltica se alcanza al equilibrar estabilidad, flujo y vacíos dentro de los rangos establecidos por la norma MTC E-504 [34], garantizando cohesión, durabilidad y resistencia a la deformación. Bajo este principio, el desempeño ideal se obtiene cuando los valores de VAM y VFA optimizan la densidad y reducen la permeabilidad. En consecuencia, los resultados obtenidos corroboran este fundamento teórico, evidenciando que el 4.9% de C.A. cumple con dichos criterios y mantiene coherencia con los estudios previos [11], [22].

Según el objetivo específico, evaluar las propiedades mecánicas de la muestra patrón y las muestras con la incorporación de fibra de acero reciclado. los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos evidenciaron un comportamiento significativamente mejorado en las mezclas modificadas respecto a la mezcla patrón. En el ensayo Marshall, la mezcla patrón (4.9% C.A.) registró una estabilidad de 2439.28 kg, mientras que la mezcla con 3% de fibra alcanzó 4483.38 kg, lo que representa un incremento de 83.8% en la resistencia. Paralelamente, el flujo se redujo de 36.50 mm a 25.63 mm, reflejando una mayor rigidez y capacidad de carga. En el ensayo Cantabro, se obtuvo una menor pérdida de masa (7.2%) para la mezcla con 3% de fibra respecto a la mezcla convencional (10.6%), lo cual demuestra una notable mejora en la cohesión interna. Finalmente, en el ensayo Lottman, el Índice de Resistencia a la Tensión (TSR) pasó de 73.5% en la mezcla patrón a 88.4% con 3% de fibra, confirmando una mejor resistencia al daño por humedad, estos hallazgos se correlacionan con los resultados obtenidos por Juárez, Sánchez y De la

Cruz (2020) en “Utilización de fibras de acero reciclado para mejorar el comportamiento estructural del pavimento rígido”, quienes reportaron un incremento del 14.28% en la resistencia a compresión al incluir un 6% de fibra metálica. Asimismo, Aguilar y Dipaz (2021) en “Efecto de la incorporación de fibras de acero reciclado de neumáticos y microsilíce en el concreto para el uso en pavimento rígido” demostraron que la resistencia a la tracción y a la flexión se incrementa significativamente con la adición de fibras metálicas recicladas, manteniendo un balance entre trabajabilidad y durabilidad. A nivel regional, Nunton Carrasco (2022) en “Análisis del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de acero de neumáticos reciclados” concluyó que el porcentaje óptimo del 3% de fibra maximiza la resistencia sin afectar la compactación, coincidiendo con lo observado en el presente estudio, el análisis comparativo confirma que la mezcla con 3% de fibra de acero reciclado ofrece el mejor desempeño mecánico integral, superando ampliamente a la mezcla patrón. Esta dosificación no solo mejora la resistencia Marshall y el TSR, sino que también reduce la pérdida de material en el ensayo Cantabro, evidenciando una mayor durabilidad. Estos resultados validan que el uso de fibra de acero proveniente de neumáticos desechados constituye una estrategia eficiente para reforzar mezclas asfálticas, aportando simultáneamente al aprovechamiento de residuos sólidos y a la prolongación de la vida útil de los pavimentos flexibles. De acuerdo con la teoría del refuerzo por fibras metálicas, estas actúan como un sistema de transferencia de esfuerzos dentro de la matriz bituminosa, reduciendo la concentración de tensiones y retrasando la aparición de fisuras por fatiga. Según la norma MTC E-504 (2016) [43], una mezcla óptima debe mantener un equilibrio entre estabilidad, flujo y vacíos. Las fibras de acero, al distribuir de forma uniforme la energía aplicada, fortalecen la estructura interna y mejoran la adherencia entre el ligante y los agregados, lo que se traduce en una mayor resistencia frente a la humedad y al desgaste.

Según el objetivo específico, analizar el costo–beneficio de la fibra de acero de neumático reciclado frente a la mezcla asfáltica tradicional, el resultado del análisis económico evidenció que la incorporación del 3 % de fibra de acero reciclado de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente incrementa ligeramente el costo inicial (de S/. 48.799 a S/. 50.751/m², +1.04 %), pero extiende significativamente la vida útil del pavimento (de 20 a 28 años) gracias a mejoras del 83.8 % en estabilidad Marshall, 29.8 % en reducción del flujo y 42.6 % en resistencia al desgaste. Esta mayor durabilidad reduce la frecuencia de mantenimiento y genera un VPN de mantenimiento 15.3 % menor, lo que disminuye el

costo total del ciclo de vida en 12 %, equivalente a un ahorro neto de S/. 34.65/m². La relación beneficio–costo (1.12–1.28) confirma que el uso de fibra reciclada es técnica y económicamente rentable, además de ambientalmente favorable, al valorizar residuos metálicos de neumáticos fuera de uso. Estos resultados guardan coherencia con los antecedentes revisados. En el ámbito internacional, Robayo y Almeida [12] demostraron que la incorporación de residuos reciclados de caucho y acero en mezclas asfálticas incrementa la durabilidad estructural en 25 % y reduce los costos de mantenimiento hasta en un 18 %, logrando una relación beneficio–costo promedio de 1.20. Por su parte, Roshan et al. [18] reportaron que la adición de 2–4 % de fibra metálica reciclada mejora la resistencia a la fatiga del pavimento y prolonga la vida útil hasta en un 30 %, lo que permite reducir los costos de intervención anual en aproximadamente 12 %. Del mismo modo, la Life cycle inventory (LCI) study (2021) [14], señaló que el empleo de acero reciclado en aplicaciones industriales puede disminuir el consumo energético en un 60 % y los costos globales del ciclo de vida en un 25 %, mientras que la EURIC [16], destaca ahorros superiores al 30 % frente a materiales convencionales. En el contexto nacional, Cuya Pillaca [19] evidenció que el uso de fibras metálicas recicladas provenientes de neumáticos no solo incrementa la resistencia mecánica del concreto en 20–35 %, sino que mejora la eficiencia económica general de la mezcla en un 10–15 % al reducir la necesidad de mantenimiento prematuro. En concordancia con estos antecedentes, los resultados de la presente investigación reafirman que el incremento marginal del costo inicial (1.04 %) por el uso de fibra de acero reciclado se compensa con una reducción significativa de los costos de mantenimiento y una extensión del 40 % en la vida útil del pavimento. Este hallazgo constituye un aporte relevante, pues cuantifica con precisión el beneficio económico total mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida (ACV), lo cual no había sido abordado con detalle en investigaciones previas a nivel nacional. Además, la valorización de residuos metálicos contribuye a la sostenibilidad económica y ambiental del sector vial, demostrando que la innovación tecnológica en mezclas asfálticas puede alinearse con principios de economía circular y eficiencia presupuestal. De acuerdo con la teoría de análisis costo–beneficio aplicado a proyectos de infraestructura, un proyecto es rentable cuando los beneficios actualizados superan los costos de inversión y mantenimiento ($B/C > 1$). En este estudio, la relación beneficio–costo alcanzada (1.12–1.28) confirma la eficiencia económica del uso de fibra de acero reciclado, coherente con los fundamentos de la Guía General de Evaluación de Inversiones del MEF [44] y las recomendaciones de la Federal Highway Administration

[6], sobre análisis de ciclo de vida de pavimentos, demostrando que la adopción de materiales reciclados no solo optimiza el desempeño estructural, sino que representa una alternativa financieramente viable y ambientalmente responsable frente a la mezcla tradicional.

Según el objetivo específico, evaluar ambientalmente la incorporación de fibra de acero de neumático reciclado frente a la mezcla asfáltica tradicional, los resultados obtenidos del análisis ambiental evidenciaron que, a lo largo de un horizonte de 20 años, la mezcla asfáltica tipo PEN 60/70 con 3 % de fibra metálica recuperada de neumáticos fuera de uso evitó aproximadamente 0.26 toneladas de CO₂ equivalente por cada 20 m³ producidos, generó un ahorro acumulado superior a 4.1 GJ y valorizó cerca de 90 neumáticos por tramo vial equivalente, traduciéndose en una disminución del 70–75 % de las emisiones y del 60–65 % del consumo energético frente al sistema convencional, además de prolongar en 25 % la vida útil del pavimento debido a una menor tasa de deterioro y a intervalos de mantenimiento más amplios, lo que refleja un desempeño ambiental y estructural notablemente superior. Los resultados se alinean con lo planteado por Wu et al. [6], quienes verificaron que la sustitución de acero virgen por fibras recicladas provenientes de neumáticos reduce en 23.91 % las emisiones de carbono (equivalente a 929.64 kg CO₂/m³) en materiales cementicios de alto desempeño, mientras que la Life cycle inventory (LCI) study (2021) [14], determinó que el uso de acero reciclado evita 1.66 kg de CO₂ por kilogramo de chatarra utilizada y requiere únicamente 15.4 MJ/kg, en contraste con los 35–40 MJ/kg necesarios para la producción primaria; de igual forma, EURIC [16], estimó reducciones globales de hasta 78 % en las emisiones y una sustitución de 0.92 toneladas de acero virgen por tonelada reciclada, reafirmando el potencial del reciclaje metálico como herramienta efectiva de descarbonización. Complementariamente, a nivel nacional, Cuya Pillaca [27], observó que la adición de 12 % de fibra reciclada y 10 % de microsílíce en concreto disminuyó la permeabilidad en 22.06 % y mejoró la resistencia a la compresión en 19.68 %, y Nunton Carrasco [24] reportó incrementos del 10–35 % en la resistencia a tracción al incorporar 5 % de fibras metálicas recuperadas, reduciendo la frecuencia de reemplazo y el consumo energético en mantenimiento. A partir de estas evidencias, el presente estudio aporta un enfoque diferenciado al aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como herramienta cuantitativa, integrando indicadores ambientales y operativos que validan la reducción de 0.26 t CO₂-eq y el ahorro de 4.1 GJ por 20 m³ de mezcla, cifras que superan los márgenes reportados

por investigaciones previas, y consolidan una propuesta adaptable al contexto peruano. El presente estudio demuestra que la incorporación del 3 % de fibra metálica reciclada no solo reduce emisiones y energía incorporada, sino que optimiza el rendimiento estructural del pavimento, disminuye los costos de mantenimiento en alrededor del 40 %, extiende la vida útil de la vía a más de dos décadas y posibilita la valorización de más de 4500 neumáticos por kilómetro construido, contribuyendo directamente a la implementación de políticas de economía circular y mitigación del cambio climático en el sector vial peruano. De acuerdo con los principios de la ingeniería sostenible y el análisis de ciclo de vida, los cuales, según la Life cycle inventory (LCI) study (2021) [14], permiten reducir hasta en 73 % las emisiones de CO₂ y 65 % el consumo energético mediante la reutilización de materiales secundarios, mientras que Dong, et al. [15], demostraron que la fase de disposición final de los neumáticos representa entre el 10 y 20 % de las emisiones totales, lo que evidencia la pertinencia de su valorización material; en coherencia, el Manual de Carreteras – Sección Pavimentos (MTC, 2014) [42], subraya que la selección de materiales en obras viales debe contemplar no solo su eficiencia técnica, sino también su desempeño ambiental, criterio que se cumple plenamente en la aplicación de fibras metálicas recicladas, consolidando así una solución vial coherente con los principios de economía circular, mitigación climática y sostenibilidad estructural.

Conclusiones

- Se concluye que los agregados junto con la fibra de acero reciclado, presentan características óptimas para poder realizar mezclas asfálticas en caliente y cumplen rigurosamente las especificaciones del MTC. La durabilidad y calidad superior de los materiales está probada por la excepcional resistencia al desgaste Los Ángeles de solo 12.7%, y una limpieza de finos óptima (Índice de Plasticidad de 2.71% y Azul de Metileno de 2%), con una granulometría que encaja en MAC-2. Estos datos métricos exactos, incluyendo el diámetro de la fibra (0.25 mm), garantizan una base robusta para la integración exitosa de las fibras, lo cual asegura la estabilidad, durabilidad mejorada y óptimo desempeño físico-mecánico de las mezclas asfálticas, en total concordancia con los estándares Marshall.
- En conclusión, el contenido óptimo de 4.9% de cemento asfáltico representa el punto de equilibrio ideal para la mezcla patrón, al lograr una estabilidad superior, adecuada compactación y una relación óptima entre vacíos y cohesión. Además, dicho contenido evidencia una mayor eficiencia estructural con menor consumo de ligante en comparación con estudios previos. Por tanto, se confirma que el diseño obtenido garantiza un comportamiento mecánico y volumétrico óptimo, asegurando la resistencia, durabilidad y estabilidad de la mezcla asfáltica frente a las condiciones de servicio.
- El análisis comparativo de las propiedades mecánicas confirmó que la mezcla con 3% de fibra reciclada presentó un desempeño superior en todos los ensayos. En el Marshall, duplicó la estabilidad de la mezcla convencional, alcanzando 4483.38 kg frente a 2439.28 kg del patrón, y redujo el flujo de 36.50 mm a 25.63 mm. En el ensayo Cantabro, la pérdida de masa se redujo de 10.6% a 7.2%, reflejando una mayor cohesión interna. Finalmente, el ensayo Lottman evidenció un Índice de Resistencia a la Tensión (TSR) de 88.4% para la mezcla con fibra, superior al 73.5% del asfalto convencional. Estos resultados demuestran que la adición controlada de fibra metálica reciclada incrementa la durabilidad, la resistencia a la humedad y la capacidad de carga del pavimento flexible.

- El análisis costo–beneficio evidenció que la incorporación del 3 % de fibra de acero reciclado de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente resultó técnica y económicamente viable, puesto que el leve incremento del costo inicial (1.04 %) se vio compensado por una reducción del 12 % en el costo total del ciclo de vida, así como por una extensión del 40 % en la durabilidad del pavimento, lo que permitió confirmar una relación beneficio–costo favorable (1.12–1.28) y un aporte significativo a la sostenibilidad vial.

- La evaluación ambiental realizada demostró que la incorporación del 3 % de fibra de acero reciclada proveniente de neumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas tipo PEN 60/70 permitió reducir significativamente los impactos ambientales y mejorar el desempeño funcional del pavimento, para un ciclo de vida de 20 años, esta alternativa evita aproximadamente 0.26 toneladas de CO₂ equivalente por cada 20 m³ de mezcla elaborada, generando un ahorro energético superior a 4.1 GJ y valorizado en alrededor de 90 neumáticos reciclados. Asimismo, redujo entre un 70 % y 75 % las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyó hasta en un 65 % el consumo energético asociado y aumentó la durabilidad estructural del pavimento en un 25 %. En conjunto, se consolidó como una alternativa técnica, ambiental y económicamente viable, al integrar los principios de la economía circular, la mitigación del cambio climático y la sostenibilidad de la infraestructura vial.

Recomendaciones

- Debido a que la calidad y resistencia de los agregados de la cantera La Victoria se han corroborado satisfactoriamente durante el transcurso de este estudio, se recomienda priorizar su uso en el desarrollo de investigaciones análogas subsiguientes. No obstante, en la eventualidad de tener que utilizar materiales pétreos provenientes de una fuente o yacimiento alternativo, se considera imperativo ejecutar una nueva y completa caracterización de dichos materiales, con el fin de asegurar el cumplimiento estricto de todos los lineamientos técnicos dictaminados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- Se recomienda usar el 4.9% de cemento asfáltico en mezclas con agregados de características similares. Si los agregados presentan distintas propiedades físicas, se debe realizar un nuevo estudio para definir el contenido óptimo.
- Se recomienda implementar la adición del 3% de fibra de acero reciclada en mezclas asfálticas destinadas a pavimentos flexibles, dado que este porcentaje optimiza la resistencia, durabilidad y estabilidad estructural sin afectar la trabajabilidad del material. Asimismo, se sugiere aplicar esta proporción en proyectos viales de alto tránsito o condiciones climáticas exigentes, donde la mejora en cohesión y resistencia a la humedad contribuya a prolongar la vida útil del pavimento.
- Se recomienda realizar un análisis integral de ciclo de vida (ACV) que incluya la fase de disposición final y reciclaje del pavimento, a fin de cuantificar con mayor precisión los beneficios ambientales asociados al uso de fibra metálica reciclada y fortalecer la evaluación de sostenibilidad.
- Se recomienda implementar la aplicación de mezclas asfálticas con 3 % de fibra de acero reciclada proveniente de neumáticos fuera de uso, ya que demostraron una reducción significativa de las emisiones de CO₂ y del consumo energético durante su ciclo de vida. Esta medida permite aprovechar residuos industriales, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del sector vial al favorecer la valorización de residuos metálicos y disminuir el impacto ecológico asociado a la producción y mantenimiento del pavimento.

Referencias

- [1] Z. Yan, W. Liu, J. Chen, y D. Jin, «Pavement conductive wearing surface with graphite heating film de-icing potential and performance experimental study», *Int. J. Pavement Res. Technol.*, vol. 14, n.º 6, pp. 688-696, nov. 2021, doi: 10.1007/s42947-020-0263-1.
- [2] «(PDF) Long-Term Maintenance Planning Method of Rural Roads under Limited Budget: A Case Study of Road Network», *ResearchGate*, oct. 2025, doi: 10.3390/app132312661.
- [3] «(PDF) Experimental investigation surface abrasion resistance and surface frost resistance of concrete pavement incorporating fly ash and slag», *ResearchGate*, Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339312837_Experimental_investigation_surface_abrasion_resistance_and_surface_frost_resistance_of_concrete_pavement_incorporating_fly_ash_and_slag
- [4] «Efecto de la aplicación de polvos de escoria metalúrgica sobre las propiedades físicas y reológicas del asfalto - ScienceDirect». Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821011922>
- [5] A. Fani, A. Golroo, H. Naseri, S. A. Mirhassani, y A. H. Gandomi, «Risk-based pavement maintenance planning considering budget and pavement deterioration uncertainty», *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 20, n.º 10, pp. 1437-1450, oct. 2024, doi: 10.1080/15732479.2022.2145317.
- [6] X. Wu, X. Shi, X. Gong, y X. Wang, «Methodologies for highway maintenance cost-effectiveness: A review», *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, sep. 2025, doi: 10.1016/j.jtte.2024.04.011.
- [7] J. Taveira, F. B. de L. Neto, y R. Menezes, «Understanding the Structure and Resilience of the Brazilian Federal Road Network Through Network Science», 20 de diciembre de 2024, *arXiv*: arXiv:2412.15865. doi: 10.48550/arXiv.2412.15865.
- [8] H. R. C. Jerónimo, B. R. R. Rodríguez, C. A. V. Mendoza, y G. G. A. Carrasco, «INFLUENCIA DE LA CÁSCARA Y FIBRA DE COCO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE», *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, vol. 7, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2020, doi: 10.26495/icti.v7i2.1506.
- [9] S. Gibbons, T. Lyytikäinen, H. G. Overman, y R. Sanchis-Guarner, «New road infrastructure: The effects on firms», *Journal of Urban Economics*, vol. 110, pp. 35-50, mar. 2019, doi: 10.1016/j.jue.2019.01.002.
- [10] M. Zakerzadeh, B. Shahbodagh, J. Ng, y N. Khalili, «The use of waste tyre rubber in Stone Mastic Asphalt mixtures: A critical review», *Construction and Building Materials*, vol. 418, p. 135420, mar. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135420.
- [11] T. Molina y L. Alberto, «Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados de la mina Cashapamba con metodología Marshall», bachelorThesis, Quito / UIDE / 2015, 2023. Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/8148581>
- [12] M. C. Robayo Sarmiento, «Hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil», bachelorThesis, Guayaquil: ULVR, 2022., 2022. Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5289>
- [13] M. C. Robayo Sarmiento, «Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones», *Dominio de las Ciencias*, vol. 8, n.º 2, pp. 1315-1333, 2022.

- [14] «Life cycle inventory (LCI) study».
- [15] Y. Dong, Y. Zhao, Md. U. Hossain, Y. He, y P. Liu, «Life cycle assessment of vehicle tires: A systematic review», *Cleaner Environmental Systems*, vol. 2, p. 100033, jun. 2021, doi: 10.1016/j.cesys.2021.100033.
- [16] «euric_metal_recycling_factsheet.pdf». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/euric_metal_recycling_factsheet.pdf
- [17] «(PDF) Influence of Recycled Tire Steel Fibers on the Mechanical Properties and Carbon Emissions of High-Performance Cement-Based Materials», *ResearchGate*, oct. 2025, doi: 10.3390/ma18133008.
- [18] N. Roshan y M. Ghalehnovi, «The effect of recycled-tire steel fiber and engineered steel fiber on rebar corrosion and shear behavior of corroded RC beam», *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02251, dic. 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02251.
- [19] E. T. Cuya Pillaca, «Fibras de acero reciclado de neumáticos y microsílíce en las propiedades del concreto $f_c=210$ Kg/Cm², para el uso en pavimento rígido, Av. La Victoria, distrito San Juan Bautista - Ayacucho - 2022».
- [20] «Utilización de fibras de acero reciclado para mejorar el comportamiento estructural del pavimento rígido». Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212023000300008
- [21] D. A. Aguilar Gomez y Y. J. Dipaz Gamboa, «Efecto de la incorporación de fibras de acero reciclado de neumáticos y microsílíce en el concreto para el uso en pavimento rígido en la av. Javier Pérez de Cuéllar, Ayacucho, 2021», *Universidad Continental*, 2021, Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11468>
- [22] E. E. Soto Ipanaque, «Uso de caucho de llantas recicladas en mezclas asfálticas en caliente como adición del cemento asfáltico».
- [23] J. R. Bobadilla Peña, J. J. Tigre Acosta, F. L. Tesen Muñoz, y S. P. Muñoz Pérez, «Uso de polímeros en asfalto: una revisión», *Gaceta Técnica*, vol. 23, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2022, doi: 10.51372/gacetatecnica231.7.
- [24] J. A. Nuntón Carrasco, «Análisis del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de acero de neumáticos reciclados», *Repositorio Institucional - USS*, 2023, Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12110>
- [25] J. C. Chilcon Carrera y K. R. Ramírez Gálvez, «ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO ALMACENABLE PARA LA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2017», *Repositorio Institucional - USS*, 2018, Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5035>
- [26] C. Encajima Santamaria, «Análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto con adición de fibra de alambre reciclado para pavimentos rígidos, 2022», 2023, Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/6788>
- [27] E. T. Cuya Pillaca, «Fibras de acero reciclado de neumáticos y microsílíce en las propiedades del concreto $f_c=210$ Kg/Cm², para el uso en pavimento rígido, Av. La Victoria, distrito San Juan Bautista - Ayacucho - 2022».
- [28] «Utilización de fibras de acero reciclado para mejorar el comportamiento estructural del pavimento rígido». Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en:

- https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212023000300008
- [29] J. C. Chilcon Carrera y K. R. Ramírez Gálvez, «ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO ALMACENABLE PARA LA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2017», *Repositorio Institucional - USS*, 2018, Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5035>
- [30] J. R. Bobadilla Peña, J. J. Tigre Acosta, F. L. Tesen Muñoz, y S. P. Muñoz Pérez, «Uso de polímeros en asfalto: una revisión», *Gaceta Técnica*, vol. 23, n.º 1, pp. 94-109, jun. 2022, doi: 10.51372/gacetatecnica231.7.
- [31] R. Espinoza Sánchez, «Sistemas de estabilización de talud y análisis de costos del km 90 000 al 100 000 de la carretera Huancayo Huancavelica, 2018».
- [32] D. A. Aguilar Gomez y Y. J. Dipaz Gamboa, «Efecto de la incorporación de fibras de acero reciclado de neumáticos y microsílíce en el concreto para el uso en pavimento rígido en la av. Javier Pérez de Cuéllar, Ayacucho, 2021», *Universidad Continental*, 2021, Accedido: 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11468>
- [33] «MAN_10 EG 2013.pdf». Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf
- [34] «Manual Ensayo de Materiales.pdf». Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- [35] «INV E-235-07 Azul de Metileno | PDF | Valoración | Química». Accedido: 16 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/111282589/INV-E-235-07-Azul-de-Metileno>
- [36] «Prueba de Lottman modificada: una descripción general | Temas de ScienceDirect». Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/modified-lottman-test>
- [37] «Paitán - Metodología de la investigación cuantitativa-cuali.pdf». Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf
- [38] R. Hernández Sampieri y C. F. Fernández-Collado, *Metodología de la investigación*, Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Education, 2014.
- [39] «Fabricante de alambre de manguera, proveedor de alambre de acero chapado en latón, fábrica, empresa». Accedido: 16 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.yushengmax.com/products/hose-wire/>
- [40] A. Orbe, E. Rojí, J. Cuadrado, y R. Losada, «Estudio para la optimización de la composición de un HACFRA (hormigón autocompactante reforzado con fibras de acero) estructural», *Informes de la Construcción*, vol. 67, n.º 537, Art. n.º 537, mar. 2015, doi: 10.3989/ic.13.080.
- [41] M. C. Robayo Sarmiento, «Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones», *Dominio de las Ciencias*, vol. 8, n.º 2, Art. n.º 2, 2022.
- [42] «man_7 sggp-2014.pdf». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en:

- https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mtc%20normas/arch_pdf/man_7%20sggp-2014.pdf?utm_source
- [43] «MAN_9 MCV-2014_2016.pdf». Accedido: 23 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_9%20MCV-2014_2016.pdf?utm_source
- [44] «Guía IFS versión 2014». Accedido: 24 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en:
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/Metodologias_Generales_PI/GUIA_EX_ANTE_InviertePe.pdf

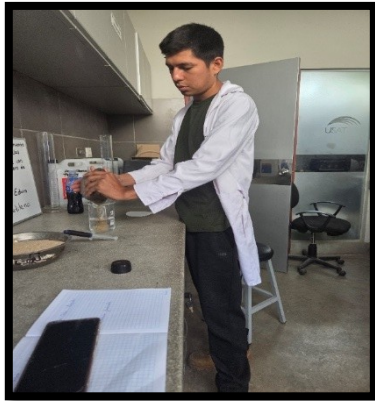
Anexos

Anexo N°01: Registro fotográfico

Abrasión



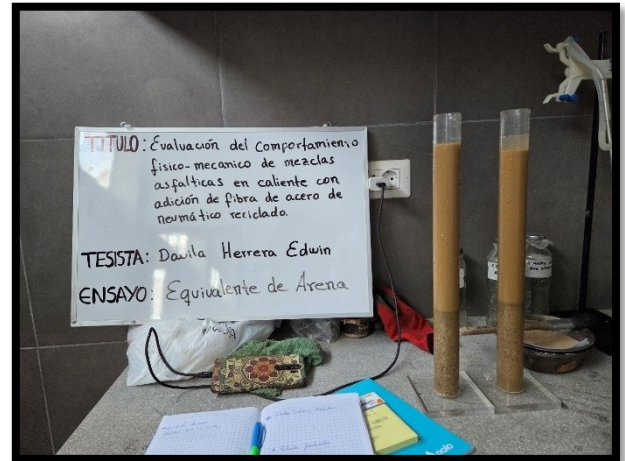
Azul de metileno



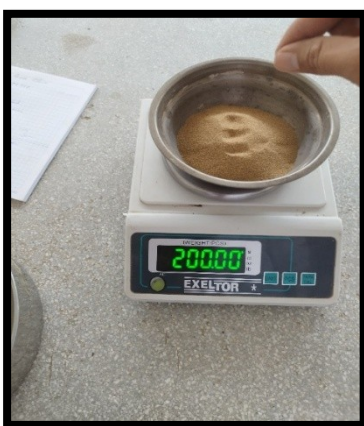
Granulometría



Equivalente de arena




Límites #40:



Límites #200:



Anexo N°02: Validación de ensayos



USAT
Universidad Católica
Santa Toribio de Mogrovejo

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

- LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS
- CONCRETO Y ASFALTO

INFORME N° LEM USAT 013-2025-II

FECHA: 27 de Octubre 2025


VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Davila Herrera Edwin


TITULO DE LA TESIS: Evaluación del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas pen 60/70 en caliente con incorporación de fibras de acero de neumático reciclado.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Análisis Granulométrico
- Peso específico y absorción agregado fino y grueso
- Peso unitario y vacíos
- Contenido de humedad agregado fino y grueso
- Caras fracturadas
- Partículas chatas y alargadas
- Equivalente de arena
- Límite plástico e índice de plasticidad en malla #40 y #200
- Peso específico de mezclas asfálticas
- Resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los Ángeles (Abrasión)
- Sales solubles en agregados
- Azul de metileno
- Durabilidad sulfato de magnesio
- Resistencia de mezclas bituminosas empleando el "método Marshall"
- Cántabro de pérdida por desgaste



Henry Roldán Obilias
Rec. Laboratorio
USAT



USAT
Universidad Católica
Santa Toribio de Mogrovejo
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS
TÉCNICO DE LABORATORIO

- Prueba de Lottman
- Flujo
- Estabilidad
- Diseño de muestra experimental con fibra de neumático reciclado en 1%, 2%, 3% y 4%.

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil



Henry
Rivadeneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIAS
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA
SANTA TORIBIO DE MOGROVEJO



TÉCNICO DE LABORATORIO



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 07 de abril del 2025 |

ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

REFERENCIA : MTC E204 / ASTM C 136 / AASHTO TP 57

| | |
|---------|-------------|
| Muestra | Agregados |
| Cantera | La Victoria |

DATOS DE DISEÑO

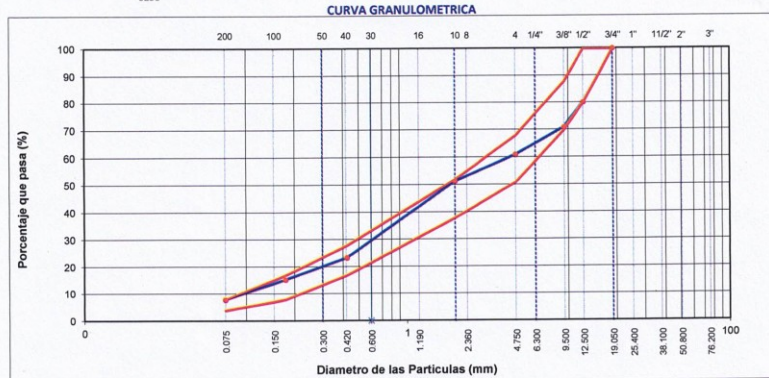
| | |
|---------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filer) | 1% |

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70

TAMAÑO MÁXIMO : 3/4"
 Peso inicial seco : 10400 g

| TAMIZ | AASHTO T-27 (mm) | PESO RETENIDO | PORCENTAJE RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO | PORCENTAJE QUE PASA | ESPECIFICACION | DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA |
|----------|------------------|---------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------------|
| 3" | 76.200 | | | | | MAC - 2 | |
| 3/4" | 19.000 | 0 | | | 100.0 | 100 | |
| 1/2" | 12.500 | 2070 | 19.9 | 19.9 | 80.1 | 80 | |
| 3/8" | 9.500 | 961 | 9.2 | 29.1 | 70.9 | 70 | |
| Nº 4 | 4.750 | 1027 | 9.9 | 39.0 | 61.0 | 51 | |
| Nº 10 | 2.000 | 346.0 | 9.6 | 48.6 | 51.4 | 38 | Observación: |
| Nº 40 | 0.425 | 1007.0 | 27.9 | 76.5 | 23.5 | 17 | |
| Nº 80 | 0.177 | 294.0 | 8.1 | 84.7 | 15.3 | 8 | |
| Nº 200 | 0.075 | 266.0 | 7.4 | 92.0 | 8.0 | 4 | |
| < Nº 200 | FONDO | 287.0 | 8.0 | 100.0 | | | |

6258



Henry Rivasdeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



| | |
|-----------------|---|
| TESISTA | : Edwin Davila Herrera |
| ESCUELA | : Escuela de Ingeniería Civil |
| TESIS | : EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 80/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| LUGAR | : Chiclayo - Lambayeque |
| FECHA DE ENSAYO | : 09 de abril del 2025 |

Muestra : Arena Amarilla - Cantera La Victoria Muestra : Piedra Chancada
 Peso Hum. 632.74 Peso Seco : 625.36 Peso Hum. 7266.99 Peso Seco : 7246.99
 Modulo de Fineza: 2.765 Cont. Hum. : 1.18 Modulo de Fineza: 4.047 Cont. Hum. : 0.28

| Malla | Peso Retenido | % Retenido | % Ret. Acum. | % Que Pasa |
|-------|---------------|------------|--------------|------------|
| 3/8" | 1.92 | 0.3 | 0.3 | 100.0 |
| Nº4 | 42.3 | 6.8 | 7.1 | 92.9 |
| Nº8 | 66.4 | 10.6 | 17.7 | 82.3 |
| Nº16 | 103.6 | 16.6 | 34.3 | 65.7 |
| Nº30 | 130.5 | 20.9 | 55.1 | 44.9 |
| Nº50 | 123.5 | 19.8 | 74.9 | 25.1 |
| Nº100 | 78.7 | 12.6 | 87.5 | 12.5 |
| FONDO | 78.3 | 12.5 | 100.0 | 0.0 |

| Malla | Peso Retenido | % Retenido | % Ret. Acum. | % Que Pasa |
|--------|---------------|------------|--------------|------------|
| 2" | 0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2" | 0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 101.29 | 1.4 | 1.4 | 98.6 |
| 3/4" | 2057.64 | 28.4 | 29.8 | 70.2 |
| 1/2" | 4105.66 | 56.7 | 86.4 | 13.6 |
| 3/8" | 411.64 | 5.7 | 92.1 | 7.9 |
| Nº4 | 347.6 | 4.8 | 96.9 | 3.1 |
| Nº8 | 80.12 | 1.1 | 98.0 | 2.0 |
| Nº16 | 10.02 | 0.1 | 98.2 | 1.8 |
| FONDO | 133 | 1.8 | 99.9 | 0.1 |

2.- PESO UNITARIO : N.T.P. 400.017

| SUELTO | A | B |
|--|-------|----------|
| - Peso de la muestra húmeda | 8902 | 8904 |
| - Volumen del molde | | 0.00555 |
| - Peso unitario suelto húmedo | 1603 | |
| - PESO UNIT. SUELTO SECO | 1585 | |
| COMPACTADO $\frac{((A+B)/2)/V}{1+(C.H./100)}$ | | |
| - Peso de la muestra húmeda | 10206 | 10196 |
| - Volumen del molde | | 0.005553 |
| - Peso unitario suelto húmedo | 1837 | |
| - PESO UNIT. COMPACTADO SECO | 1816 | |

| SUELTO | T.M.: | T.M.N.: |
|-------------------------------|-------|---------|
| - Peso de la muestra húmeda | 8044 | 8038 |
| - Volumen del molde | | 0.00544 |
| - Peso unitario suelto húmedo | 1477 | |
| - PESO UNIT. SUELTO SECO | 1473 | |
| COMPACTADO | | |
| - Peso de la muestra húmeda | 8718 | 8722 |
| - Volumen del molde | | 0.00544 |
| - Peso unitario suelto húmedo | 1602 | |
| - PESO UNIT. COMPACTADO SECO | 1597 | |

3.- PEOS ESPECIFICO Y ABSORCIÓN :

| A.- Datos de la arena | | N.T.P. 400.021 Arena | | | |
|---|-----------------|----------------------|-------|-------|-------|
| 1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca. | g | 500.0 | 500.0 | 500.0 | |
| 2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua. | g | 999.9 | 999.9 | | |
| 3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco. | g | 692.1 | 692.1 | | |
| 4.- Peso del Agua. | g | 307.8 | 307.8 | 307.8 | |
| 5.- Peso del Frasco | g | 192.1 | 192.1 | | |
| 6.- Peso de la Muest. secada ahorro + Peso del frasco. | g | 689.2 | 689.2 | | |
| 7.- Peso de la Muest. seca en el horno. | g | 497.1 | 497.1 | 497.1 | |
| 8.- Volumen del frasco. | cm | 500.0 | 500.0 | 500.0 | |
| B.- Resultados | | | | | |
| A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA. | 7/(8-4) | g/cm ³ | 2.586 | 2.586 | 2.586 |
| B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S. | 7/(7-4) | g/cm ³ | 2.601 | 2.601 | 2.601 |
| C.- PESO ESPECIFICO APARENTE | 7/((8-4)-(8-7)) | g/cm ³ | 2.626 | 2.626 | 2.626 |
| D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN. | ((1-7)/7)*100 | % | 0.59 | 0.59 | 0.59 |

| A.- Datos de la grava | | N.T.P. 400.022 Piedra | | | |
|---|---------------|-----------------------|-------|-------|-------|
| 1.- Peso de la muestra seca al horno | g | 2491 | 2491 | 2491 | |
| 2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca | g | 2512 | 2512 | 2512 | |
| 3.- peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla | g | 2490 | 2490 | | |
| 4.- Peso de la canastilla | g | 890 | 890 | | |
| 5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua | g | 1600 | 1600 | 1600 | |
| B.- Resultados | | | | | |
| A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA. | 1/(2-5) | g/cm ³ | 2.731 | 2.731 | 2.731 |
| B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S. | 2/(2-5) | g/cm ³ | 2.754 | 2.754 | 2.754 |
| C.- PESO ESPECIFICO APARENTE | 1/(1-5) | g/cm ³ | 2.796 | 2.796 | 2.796 |
| D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN. | ((2-1)/1)*100 | % | 0.84 | 0.84 | 0.84 |

4.- CONTENIDO DE HUMEDAD : N.T.P. 339.185

| Arena $\frac{(A+B)/2}{1+(C.H./100)}$ | |
|--------------------------------------|------|
| 1.- Peso de la muest. húmeda | 5450 |
| 2.- Peso de la muestra seca | 5390 |
| 3.- Cont. Humedad | 1.11 |
| 4.- Promedio | 1.11 |

| Grava | |
|------------------------------|------|
| 1.- Peso de la muest. húmeda | 3560 |
| 2.- Peso de la muestra seca | 3489 |
| 3.- Cont. Humedad | 2.03 |
| 4.- Promedio | 2.03 |



Henry Ribadeneyra Obitas
USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 11 de abril del 2025 |

ENSAYO : PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

REFERENCIA : ASTM C-128 / MTC E 205 / N.T.P. 400.022

| | |
|---------|-----------------|
| Muestra | : Agregado fino |
| Cantera | : La Victoria |

I.- Datos.

| | | | |
|--|-----|--------|--------|
| 1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Aq | (g) | 999.9 | 999.9 |
| 2.- Peso (Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco | (g) | 692.1 | 692.1 |
| 3.- Peso del Agua | (g) | 307.8 | 307.8 |
| 4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco | (g) | 689.17 | 689.17 |
| 5.- Peso del Frasco | (g) | 192.1 | 192.1 |
| 6.- Peso de la Arena Secada al Horno | (g) | 497 | 497 |
| 7.- Volumen del frasco | (g) | 500 | 500 |

II.- Resultados

| | | |
|--------------------------------------|---------|-------|
| A.- PESO ESPECIFICO DE MASA | (g/cm3) | 2.586 |
| B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO | (g/cm3) | 2.601 |
| C.- PESO ESPESIFICO APARENTE | (g/cm3) | 2.626 |
| D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN | (%) | 0.59 |

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Piedra Chancada

I.- Datos.

| | | | |
|--|-----|------|------|
| 1.- Peso de la muestra secada al horno | (g) | 2491 | 2491 |
| 2.- Peso de la muestra superficialmente seca | (g) | 2512 | 2512 |
| 3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla | (g) | 2490 | 2490 |
| 4.- Peso de la canastilla | (g) | 890 | 890 |
| 5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua | (g) | 1600 | 1600 |

II.- Resultados

| | | |
|--------------------------------------|---------|-------|
| A.- PESO ESPECIFICO DE MASA | (g/cm3) | 2.731 |
| B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO | (g/cm3) | 2.754 |
| C.- PESO ESPESIFICO APARENTE | (g/cm3) | 2.796 |
| D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN | (%) | 0.84 |



Henry



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



| | |
|-----------------|---|
| TESISTA | : Edwin Davila Herrera |
| ESCUELA | : Escuela de Ingeniería Civil |
| TESIS | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| LUGAR | : Chiclayo - Lambayeque |
| FECHA DE ENSAYO | : 11 de abril del 2025 |

ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

REFERENCIA : ASTM C-535 / MTC E 215 / N.T.P. 339.185

| | |
|----------------|------------------------------|
| <i>Muestra</i> | : <i>Agregado fino</i> |
| <i>Cantera</i> | : <i>Cantera La Victoria</i> |

I. - Datos

| | | | |
|-------------------------------------|-------|-------------|-------------|
| A.- Peso de muestra húmeda | (gr.) | 5450 | 5450 |
| B.- Peso de muestra seca | (gr.) | 5390 | 5390 |
| C.- Peso de recipiente | (gr.) | 0.0 | 0 |
| D.- Contenido de humedad | (%) | 1.11 | 1.11 |
| E.- Contenido de humedad (promedio) | (%) | 1.11 | |

ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO

REFERENCIA : ASTM C-535 / MTC E 215 / N.T.P. 339.185

Cantera : Piedra Chancada

I. - Datos

| | | | |
|-------------------------------------|-------|-------------|-------------|
| A.- Peso de muestra húmeda | (gr.) | 3560 | 3560 |
| B.- Peso de muestra seca | (gr.) | 3489 | 3489 |
| C.- Peso de recipiente | (gr.) | 0.0 | 0 |
| D.- Contenido de humedad | (%) | 2.0 | 2.0 |
| E.- Contenido de humedad (promedio) | (%) | 2.03 | |



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
USAT
Universidad Católica
Lambayeque



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 23 de abril del 2025 |

ENSAYO : PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO

REFERENCIA : ASMT D- 4791-99 / MTC E 223

| | |
|---------|-------------------|
| Muestra | : Piedra chancada |
| Cantera | : La Victoria |

Muestra usada : 880 g

| MATERIAL | | AGREGADO GRUESO | | | CHATAS | | | ALARGADAS | | |
|----------|----------|-----------------|--------|--------|--------|------|-----------|-----------|------|-----------|
| TAMIZ | ABERTURA | PESO RET. | % RET. | % PASA | PESO | (%) | (%) CORR. | PESO | (%) | (%) CORR. |
| (pulg) | (mm) | | | | | | | | | |
| 3/4" | 19.00 | | | 100.00 | | | | | | |
| 1/2" | 12.50 | 500.0 | 56.82 | 43.18 | 56 | 6.36 | | 6 | 0.68 | |
| 3/8" | 9.50 | 200.0 | 22.73 | 20.45 | 12 | 1.36 | | 5 | 0.57 | |
| 1/4" | 6.30 | 180.0 | 20.45 | - | 0 | - | | 9 | 1.02 | |
| | | | TOTAL | | 68 | 7.73 | | 20 | 2.27 | |

| | | | | |
|-------------------------------|-----|-------|----------------|----------|
| PESO TOTAL DE LA MUESTRA | (g) | 880.0 | | |
| PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS | (%) | 10.0 | ESPECIFICACIÓN | 10% Max. |

OBSERVACIONES: El ensayo se realizó con la relación dimensional 1:3





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 16 de abril del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

REFERENCIA : MTC E-114 (Ref. EG-2000)

| | |
|----------------|-----------------|
| Muestra | : Agregado fino |
| Cantera | : La Victoria |

| DESCRIPCION | Agregado fino | | |
|--|---------------|-------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| MUESTRA N° | 1 | 2 | 3 |
| TAMAÑO MAXIMA (mm.) | N° 4 | N° 4 | N° 4 |
| HORA DE ENTRADA | 3.01 | 3.05 | 3.10 |
| HORA DE SALIDA | 3.51 | 3.55 | 3.60 |
| HORA DE ENTRADA | 3.15 | 3.20 | 3.25 |
| HORA DE SALIDA | 3.35 | 3.40 | 3.45 |
| ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.) | 9.80 | 9.80 | 9.50 |
| ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.) | 6.00 | 6.00 | 5.60 |
| EQUIVALENTE DE ARENA | 61.2 % | 61.2 % | 58.9 % |
| EQUIVALENTE DE ARENA (EA) | 61 % | | |
| ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA | | | |
| Min | : | 60 % Minimo | |

$$\text{Equivalente de arena(EA)} = \frac{\text{Lectura de la Arena}}{\text{Lectura de la Arcilla}} \times 100$$



Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 16 de abril del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

REFERENC : MTC E-114 (Ref. EG-2000)

| | |
|----------------|-----------------|
| Muestra | : Agregado fino |
| Cantera | : La Victoria |

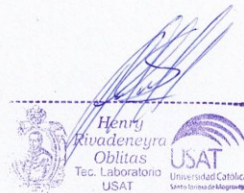
EXAMEN CUANTITATIVO

I.- DATOS

| MUESTRA Nº | 1 | 2 | 3 |
|--|-------------|---------|---------|
| TAMAÑO MAXIMA (mm.) | Nº 4 | Nº 4 | Nº 4 |
| ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.) | 9.80 | 9.80 | 9.50 |
| ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.) | 6.00 | 6.00 | 5.60 |
| EQUIVALENTE DE ARENA | 61.22 % | 61.22 % | 58.95 % |
| EQUIVALENTE DE ARENA (EA) | 61 % | | |
| ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000): | | | |
| Minimo : 60 % Minimo | | | |

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



| | |
|-----------------|---|
| TESISTA | : Edwin Davila Herrera |
| ESCUELA | : Escuela de Ingeniería Civil |
| TESIS | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| LUGAR | : Chiclayo - Lambayeque |
| FECHA DE ENSAYO | : 25 de abril del 2025 |

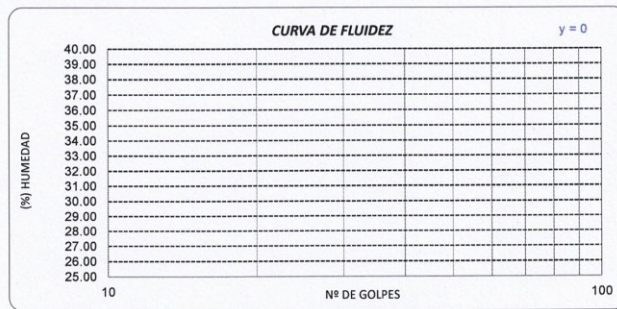
ENSAYO : MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DEL SUELO

REFERENCIA : N.T.P. 399.129 / MTC E 110 / MTC E 111

| | |
|---------|-----------------|
| Muestra | : Agregado fino |
| Cantera | : La Victoria |

| Datos de ensayo. | Límite Líquido | | | Límite Plástico | | |
|-----------------------|----------------|------|------|-----------------|--|--|
| | 12 | 15 | 16 | 20 | | |
| N° de tarro | 12 | 15 | 16 | 20 | | |
| N° de golpes | 35 | 23 | 14 | | | |
| Tarro + suelo húmedo | 41.2 | 46.5 | 47.6 | 13.5 | | |
| Tarro + suelo seco | 41.2 | 46.5 | 47.6 | 13.5 | | |
| Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Peso del tarro | 25.6 | 21.4 | 23.4 | 9.80 | | |
| Peso del suelo seco | 15.6 | 25.1 | 24.2 | 3.7 | | |
| Porcentaje de humedad | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |

| CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA | |
|-----------------------------------|------|
| Límite Líquido | 0.00 |
| Límite Plástico | 0.00 |
| Índice de Plasticidad | 0.00 |



Observaciones:



Henry Rivasdeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



| | |
|-----------------|---|
| TESISTA | : Edwin Davila Herrera |
| ESCUELA | : Escuela de Ingeniería Civil |
| TESIS | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| LUGAR | : Chiclayo - Lambayeque |
| FECHA DE ENSAYO | : 25 de abril del 2025 |

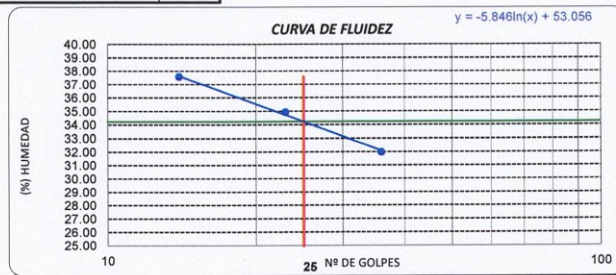
ENSAYO : MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DEL SUELO

REFERENCIA : N.T.P. 399.129 / MTC E 110 / MTC E 111

| | |
|---------|-----------------|
| Muestra | : Agregado fino |
| Cantera | : La Victoria |

| Datos de ensayo. | Límite Líquido | | | | Límite Plástico | |
|-----------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|--|
| | 12 | 15 | 16 | 1 | 20 | |
| N° de tarro | 12 | 15 | 16 | 1 | 20 | |
| N° de golpes | 36 | 23 | 14 | 14 | | |
| Tarro + suelo húmedo | 20.92 | 23.82 | 22.04 | 22.04 | 11.13 | |
| Tarro + suelo seco | 17.56 | 19.52 | 17.94 | 17.94 | 10.2 | |
| Agua | 3.36 | 4.3 | 4.1 | 4.1 | 0.93 | |
| Peso del tarro | 7.06 | 7.21 | 7.03 | 7.03 | 7.25 | |
| Peso del suelo seco | 10.5 | 12.31 | 10.91 | 10.91 | 2.95 | |
| Porcentaje de humedad | 32.00 | 34.93 | 37.58 | 37.58 | 31.53 | |

| CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA | |
|-----------------------------------|-------|
| Límite Líquido | 34.24 |
| Límite Plástico | 31.53 |
| Índice de Plasticidad | 2.71 |



Observaciones:





| | |
|-----------------|---|
| Tesista | :Edwin Davila Herrera |
| Escuela | :Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 16 de abril del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : MTC E 207 / ASTM C-131

| | |
|---------|-------------------|
| Muestra | : Agregado grueso |
| Cantera | : La Victoria |

Profundidad

I.- Granulometría global

| Mallas | | Peso | % | Método |
|--------------|---------|---------------|--------------|---------------|
| Pasa | Retiene | retenido | retenido | B |
| 1 1/2" | 1" | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1" | 3/4" | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3/4" | 1/2" | 2500.0 | 50.0 | 0.0 |
| 1/2" | 3/8" | 2500.0 | 50.0 | 5000.3 |
| Total | | 5000.0 | 100.0 | 5000.3 |

II.- Ensayo de Abrasión

| | |
|--|--------|
| - Peso inicial antes del ensayo | 5000.0 |
| - Peso final después de las 200 revoluciones | 4596.0 |
| - Peso final después de las 500 revoluciones | 4363.0 |

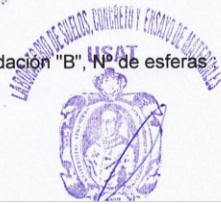
III.- Cálculos

| | |
|------------------------------|-------------|
| - % de desgaste por abrasión | 12.7 |
| - % de uniformidad | 0.6 |

OBSERVACIONES :

NOTA :

- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500



Henry
Rivadeneira
Oblitas
USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 16 de abril del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : MTC E 207 / ASTM C-131

| | |
|----------------|-------------------|
| <i>Muestra</i> | : Agregado grueso |
| <i>Cantera</i> | : La Victoria |

| | | |
|-----------------------------------|---|-------------|
| % de desgaste por abrasión | % | 12.7 |
| % de uniformidad | % | 0.6 |

Requerimientc : 40 % Maximo

OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", N° de esferas : 11, Revoluciones : total 500



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tsc. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



| | | |
|-----------------|---|---|
| Tesista | : | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : | 09 de abril del 2025 |

ENSAYO : SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

REFERENCIA: : MTC E 219

Cantera : La Victoria
Muestra : Piedra

| | | | |
|----------------------|----|-----|-----|
| Muestra usada | g. | 100 | 100 |
| Agua destilada usada | ml | 500 | 500 |

| | | | | |
|----|---|---|-------|-------|
| 01 | Relación de la mezcla suelo - agua destilada | | 5.00 | 5.00 |
| 02 | Número de beaker | | 1 | 2 |
| 03 | Peso de beaker | g. | 48.90 | 52.80 |
| 04 | Peso de beaker + residuo de sales | g. | 48.95 | 52.89 |
| 05 | Peso de residuo de sales | (4)-(3) g. | 0.05 | 0.09 |
| 06 | Volumen de la solución tomada | ml | 100 | 100 |
| 07 | Constituyentes de sales solubles totales | $[(5) \times (1000000)] / (6)] \times (1)$ ppm | 500 | 900 |
| 08 | Constituyentes de sales solubles totales en peso seco | (7) / 10000 (%) | 0.05 | 0.09 |
| | | PROMEDIO (ppm) = | | 700 |
| | | PROMEDIO (%) = | | 0.07 |

OBSERVACIONES :



Henry Ribadeneira Oblitas
Henry Ribadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 14 de mayo del 2025 |

ENSAYO : AZÚL DE METILENO

REFERENCIA : AASHTO TP 57

| | |
|---------|-------------------|
| Muestra | : Piedra chancada |
| Cantera | : La Victoria |

| MUESTRA | Azul de Metileno Cada | Cantidad de Solución NÚMERO | Peso del Material Fino (N° 200) | Resultado | Especificación EG-213 | |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------------------|------|
| | | | | | Min. | Máx. |
| AGREGADO FINO - tamiz 200 | Cada 0.5 ml | 8.0 | 5.0 | 2 | - | 8 |
| | | 8.0 | 5.0 | 2 | | |

RESULTADOS PROMEDIOS : 2

FORMULA DE APLICACIÓN

$$AM = C_{sol} / p_{finos}$$





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



| | | |
|-----------------|---|---|
| Tesista | : | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : | 14 de Mayo del 2025 |

ENSAYO : DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO

REFERENCIA : MTC E 209

| | |
|---------|----------------|
| Muestra | : Piedra Arena |
| Cantera | : La Victoria |

Inalterabilidad del agregado fino: Análisis cuantitativo.

| Tamaño de los tamices | | | '(1) | '(2) | '(3) | '(4) | '(5) |
|-----------------------|---------|---------------------------|--------------------------------------|--|----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Pasa | Retiene | Gradación Original (peso) | Gradación de la muestra Original (%) | Peso de las Fracciones comprendido antes de ensayo (g) | Peso Ret. despues del ensayo (g) | Pérdida Total (%) | Pérdida Corregida (%) |
| 3/8" | Nº 4 | 158.9 | 15.0 | 100 | 95.1 | 4.9 | 0.7 |
| 9.5 mm | 4.75 mm | | | | | | |
| Nº 4 | Nº 8 | 120.5 | 11.3 | 100 | 92.7 | 7.3 | 0.8 |
| 4.75 mm | 2.36 mm | | | | | | |
| Nº 8 | Nº 16 | 110.2 | 10.4 | 100 | 94.6 | 5.4 | 0.6 |
| 2.36 mm | 1.18 mm | | | | | | |
| Nº 16 | Nº 30 | 125.6 | 11.8 | 100 | 95.7 | 4.3 | 0.5 |
| 1.18 mm | 600 µm | | | | | | |
| Nº 30 | Nº 50 | 125 | 11.8 | 100 | 85.9 | 14.1 | 1.7 |
| 600 µm | 300 µm | | | | | | |
| Nº 50 | Nº 100 | 286 | 26.9 | 100 | 92.7 | 7.3 | 2.0 |
| 300 µm | 150 µm | | | | | | |
| Nº 100 | | 135.6 | 12.8 | 100 | 100 | 0.0 | 0.0 |
| 150 µm | | | | | | | |
| Totales | | 1061.8 | 100.0 | 700 | 656.7 | | 6.3 |

DESGASTE TOTAL (%) 6.3

Observaciones :

- Solución usada : Sulfato de Magnesio (densidad = 1.305 gr/cm3)

(*) Cantidades mínimas; se pueden emplear muestras de mayor tamaño.

(**) Se utiliza la pérdida de la fracción más próxima por ser el porcentaje original <5%

(2) Fracción pesadas de acuerdo con límites de la tabla.

(3) Fracciones pesadas después del ensayo

(4) = $\frac{(2)-(3)}{(2)} \times 100$

'(2)

(5) = $\frac{(1) \cdot (4)}{(100)}$

'(100)



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 14 de mayo del 2025 |

ENSAYO : DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO

REFERENCIA : MTC E 209

| | |
|---------|-------------------|
| Muestra | : Piedra chancada |
| Cantera | : La Victoria |

| Tamaño de los tamices | Gradacion | Gradacion de la | | Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g) | Nº de Partículas | Peso Ret. despues del ensayo (g) | Pérdida Total (%) | Pérdida Corregida (%) | Nº de Partículas |
|-----------------------|-----------|-----------------|------------------------|---|------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| | | Original (peso) | Muestra Originales (%) | | | | | | |
| Pasa | Retiene | | | | | | | | |
| 2 1/2" | 2" | 0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 |
| 63 mm | 50 mm | | | | | | | | |
| 2" | 1 1/2" | 0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 |
| 50 mm | 37.5 mm | | | | | | | | |
| 1 1/2" | 3/4" | 1818 | 77.6 | 301.68 | 23 | 289.5 | 4.0 | 3.1 | 18 |
| 37.5 mm | 19 mm | | | | | | | | |
| 3/4" | 1/2" | 252 | 10.8 | 152.05 | 23 | 136.5 | 10.2 | 1.1 | 16 |
| 19 mm | 12.5 mm | | | | | | | | |
| 1/2" | 3/8" | 152.5 | 6.5 | 65.78 | 23 | 56.2 | 14.6 | 0.9 | 14 |
| 12.5 mm | 9.5 mm | | | | | | | | |
| 3/8" | Nº 4 | 120.5 | 5.1 | 56.5 | 23 | 41.5 | 26.5 | 1.4 | |
| 9.5 mm | 4.75 mm | | | | | | | | |
| Totales | | 2343 | 100.0 | 576.01 | | 523.7 | | 6.5 | |

DESGASTE TOTAL (%) 6.5

Obsevaciones

- (2) Fracción pesadas de acuerdo con límites de la tabla.
 (3) Contadas antes del ensayo.
 (4) Fracciones pesadas sepués del ensayo.
 (5) = $\frac{(2)-(4)}{(2)} \times 100$
 (6) = $\frac{(1) \times (5)}{(100)}$
 (7) Se cuentan todas aquéllas no desintegradas después del ensayo.

Henry Ribadeneyra Ob-litas
Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO



| | |
|-----------------|---|
| Tecnicista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingenieria Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 07 de abril del 2025 |

ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

REFERENCIA : MTC E204 / ASTM C 136 / AASHTO TP 57

| | |
|---------|---------------|
| Muestra | : Agregados |
| Cantera | : La Victoria |

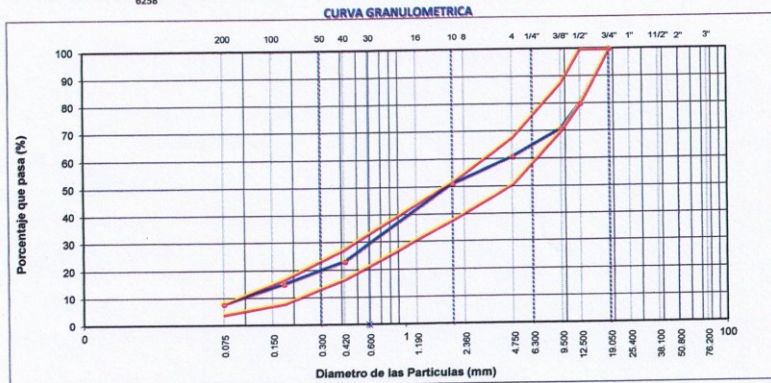
DATOS DE DISEÑO

| | |
|---------------------|-------|
| Grava Chancada 3/4" | : 45% |
| Arena Chancada 1/4" | : 55% |
| Cemento (Filler) | : 1% |

TAMAÑO MAXIMO : 3/4"
 Peso inicial seco : 10400 g

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70

| TAMIZ | AASHTO T-27 (mm) | PESO RETENIDO | PORCENTAJE RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO | PORCENTAJE QUE PASA | ESPECIFICACION | DESCRIPCION DE LA MUESTRA |
|----------|------------------|---------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------------|
| 3" | 76.200 | | | | | MAC - 2 | |
| 3/4" | 19.000 | 0 | | | 100.0 | 100 | |
| 1/2" | 12.500 | 2070 | 19.9 | 19.9 | 80.1 | 80 | |
| 3/8" | 9.500 | 961 | 9.2 | 29.1 | 70.9 | 70 | |
| Nº 4 | 4.750 | 1027 | 9.9 | 39.0 | 61.0 | 51 | |
| Nº 10 | 2.000 | 346.0 | 9.6 | 48.6 | 51.4 | 38 | Observación: |
| Nº 40 | 0.425 | 1007.0 | 27.9 | 76.5 | 23.5 | 17 | |
| Nº 80 | 0.177 | 294.0 | 8.1 | 84.7 | 15.3 | 8 | |
| Nº 200 | 0.075 | 266.0 | 7.4 | 92.0 | 8.0 | 4 | |
| < Nº 200 | FONDO | 287.0 | 8.0 | 100.0 | | | |



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 27, 28 y 30 de Mayo - 03 y 06 de junio del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
DETERMINACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA OPTIMA [4%]

REFERENCIA : MTC E 504

| | |
|---------|---------------|
| Muestra | : Agregados |
| Cantera | : La Victoria |

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filer) | 1% |
| CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70 | |

| | | |
|-----------------------------------|------|-------|
| Peso de Muestra | 1425 | |
| Peso de C.A | 60 | 4.00% |
| Peso del Cemento | 15 | |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 | |

| | |
|------------------|--------|
| Piedra | 641.25 |
| Arena | 783.75 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 60 |

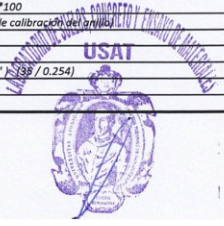
| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 39.02 | 37.46 |
| B Arena | 59.98 | 57.58 |
| C Filler | 1 | 4.96 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº4 | Nº10 | Nº40 | Nº80 | Nº200 |

| | | | | | | | | |
|-------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| | 100 | 80.1 | 70.9 | 61.0 | 51.4 | 23.5 | 15.3 | 8.0 |
| MAC-2 | 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 |

| Mezcla | Especificaciones IVB |
|--------|----------------------|
|--------|----------------------|

| # | Descripción | Unidad | 1 | 2 | 3 | Prom. |
|----|--|--------|---------|---------|--------|-------|
| 1 | Número de briqueta | # | 1 | 2 | 3 | |
| 2 | C.A. en peso de la mezcla | % | 4.0 | 4.0 | 4.0 | |
| 3 | % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 37.46 | 37.46 | 37.46 | |
| 4 | % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 57.58 | 57.58 | 57.58 | |
| 5 | % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 6 | Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc. | 1.023 | 1.023 | 1.023 | |
| 7 | Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.411 | 2.411 | 2.411 | |
| 8 | Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.422 |
| 9 | Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | |
| 10 | Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.461 |
| 11 | Peso específico aparente del filler | gr/cc. | 1.47 | 1.47 | 1.47 | |
| 12 | Altura promedio de la briqueta | cm. | 6.91 | 7.06 | 6.59 | |
| 13 | Peso de la briqueta en el aire | gr. | 1261.6 | 1279.37 | 1261.7 | |
| 14 | Peso de la briqueta saturada superficialmente seca | gr. | 1278.34 | 1295 | 1295.0 | |
| 15 | Peso de la briqueta en el agua 25 °C | gr. | 718.0 | 721 | 745 | |
| 16 | Volumen de la briqueta 14-15 | c.c. | 560.3 | 574 | 550 | |
| 17 | Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514) | gr/cc. | 2.251 | 2.229 | 2.294 | 2.258 |
| 18 | Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc. | 2.370 | 2.370 | 2.370 | |
| 19 | Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$ | gr/cc. | 2.337 | 2.337 | 2.337 | |
| 20 | % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 5.01 | 5.96 | 3.22 | 4.73 |
| 21 | Peso específico Bulk del Agregado Total $100 - 21 / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$ | gr/cc. | 2.445 | 2.445 | 2.445 | |
| 22 | Peso específico Aparente del agregado total $100 - 21 / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$ | gr/cc. | 2.480 | 2.480 | 2.480 | |
| 23 | Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$ | gr/cc. | 2.483 | 2.483 | 2.483 | |
| 24 | Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6 / (23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | 0.64 | 0.64 | 0.64 | |
| 25 | % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17 / 21$ | % | 87.52 | 86.64 | 89.17 | |
| 26 | % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$ | % | 7.47 | 7.40 | 7.61 | |
| 27 | % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 12.48 | 13.36 | 10.83 | 12.22 |
| 28 | Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$ | % | 3.40 | 3.40 | 3.40 | |
| 29 | Relación betún vacíos $(26/27) * 100$ | % | 59.87 | 55.36 | 70.28 | 61.84 |
| 30 | Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del aparato) | kg | 2805 | 2931 | 2530 | |
| 31 | Factor de estabilidad | | 0.86 | 0.83 | 0.81 | |
| 32 | Estabilidad corregida $31 * 32$ | kg | 2805 | 2931 | 2530 | 2755 |
| 33 | Lectura del flexímetro $(0.01" / 38 / 0.254)$ | pul. | 37 | 39 | 39 | 38 |
| 34 | Fluencia | m.m. | 9.40 | 9.91 | 9.91 | |
| 35 | Relación Estabilidad / Fluencia | g/m | 2985 | 2959 | 2554 | 2833 |





| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingenieria Civil |
| Tesis | : EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACION DE ACERO DE NEUMATICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 27, 28 y 30 de Mayo - 03 y 06 de junio del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
 DETERMINACION DE MEZCLA ASFALTICA OPTIMA [4.5%]

REFERENCIA : MTC E 504

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filler) | 1% |
| CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 | |

| | | |
|-----------------------------------|--------|------|
| Peso de Muestra | 1417.5 | |
| Peso de C.A | 67.5 | 4.5% |
| Peso del Cemento | 15 | |
| Peso Total de la Mezcla Asfaltica | 1500 | |

| | |
|------------------|---------|
| Piedra | 637.875 |
| Arena | 779.63 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 67.5 |

| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 39.02 | 37.26 |
| B Arena | 59.98 | 55.37 |
| C Filler | 1 | 7.36 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | N#4 | N#10 | N#40 | N#80 | N#200 |

| | | | | | | | | |
|-------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| | 100 | 80.1 | 70.9 | 61.0 | 51.4 | 23.5 | 15.3 | 8.0 |
| MAC-2 | 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 |

| | |
|--------|-----|
| Mezcla | IVB |
|--------|-----|

| | | # | 1 | 2 | 3 | Prom. |
|----|---|--------|--------|---------|--------|-------|
| 1 | Número de briqueta | | 4.5 | 4.5 | 4.5 | |
| 2 | C.A. en peso de la mezcla | % | 37.26 | 37.26 | 37.26 | |
| 3 | % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 55.37 | 55.37 | 55.37 | |
| 4 | % de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4) | % | 1.91 | 1.91 | 1.91 | |
| 5 | % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 1.023 | 1.023 | 1.023 | |
| 6 | Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc. | 2.411 | 2.411 | 2.411 | |
| 7 | Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.422 |
| 8 | Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | |
| 9 | Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.461 |
| 10 | Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 1.47 | 1.47 | 1.47 | |
| 11 | Peso específico aparente del filler | gr/cc. | 6.95 | 6.54 | 6.97 | |
| 12 | Altura promedio de la briqueta | cm. | 1236.7 | 1148.68 | 1236.7 | |
| 13 | Peso de la briqueta en el aire | gr. | 1257 | 1173 | 1256.0 | |
| 14 | Peso de la briqueta saturada superficialmente seca | gr. | 714.0 | 676 | 699.0 | |
| 15 | Peso de la briqueta en el agua 25 °C | gr. | 543 | 497 | 557.0 | |
| 16 | Volumen de la briqueta 14-15 | c.c. | 2.278 | 2.311 | 2.220 | 2.270 |
| 17 | Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514) | gr/cc. | 2.398 | 2.398 | 2.398 | |
| 18 | Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc. | 2.365 | 2.365 | 2.365 | |
| 19 | Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (9/10))$ | gr/cc. | 5.04 | 3.64 | 7.43 | 5.37 |
| 20 | % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 2.495 | 2.495 | 2.495 | |
| 21 | Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$ | gr/cc. | 2.530 | 2.530 | 2.530 | |
| 22 | Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$ | gr/cc. | 2.535 | 2.535 | 2.535 | |
| 23 | Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$ | % | 0.65 | 0.65 | 0.65 | |
| 24 | Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | 86.30 | 87.58 | 84.13 | |
| 25 | % del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$ | % | 8.66 | 8.78 | 8.44 | |
| 26 | % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$ | % | 13.70 | 12.42 | 15.87 | 14.00 |
| 27 | % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 3.90 | 3.90 | 3.90 | |
| 28 | Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$ | % | 63.19 | 70.72 | 53.18 | 62.36 |
| 29 | Relación betún vacíos $(26/27) * 100$ | % | 3056 | 2152 | 3208 | |
| 30 | Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del equipo) | kg | 0.93 | 1.04 | 0.89 | |
| 31 | Factor de estabilidad | kg | 2842 | 2238 | 2855 | 2645 |
| 32 | Estabilidad corregida $31 * 32$ | kg | 39 | 34 | 37 | 37 |
| 33 | Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254) | pul. | 9.91 | 8.64 | 9.40 | |
| 34 | Fluencia | m.m. | 2869 | 2591 | 3038 | 2833 |
| 35 | Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | | | | |



Henry Rivadeneira Oblitas
 USAT



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 27, 28 y 30 de Mayo - 03 y 06 de junio del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
 DETERMINACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA OPTIMA [5%]

REFERENCIA : MTC E 504

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filler) | 1% |
| CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70 | |

| | |
|-----------------------------------|---------|
| Peso de Muestra | 1410 |
| Peso de C.A | 75 5.0% |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 |

| | |
|------------------|-------|
| Piedra | 634.5 |
| Arena | 775.5 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 75 |

| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 39.02 | 37.07 |
| B Arena | 59.98 | 55.08 |
| C Filler | 1 | 7.85 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|-----|------|------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº4 | Nº10 | Nº80 | Nº200 |

| | | | | | | | |
|--------------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | 100 | 80.1 | 70.9 | 61.0 | 51.4 | 23.5 | 8.0 |
| MAC-2 | 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 |

| Mezcla |
|----------------------|
| Especificaciones IVB |

| | # | 1 | 2 | 3 | Prom. |
|--|--------|---------|---------|---------|-------|
| 1 Número de briqueta | | | | | |
| 2 C.A. en peso de la mezcla | % | 5.0 | 5.0 | 5.0 | |
| 3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 37.07 | 37.07 | 37.07 | |
| 4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 55.08 | 55.08 | 55.08 | |
| 5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 1.90 | 1.90 | 1.90 | |
| 6 Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc. | 1.023 | 1.023 | 1.023 | |
| 7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.411 | 2.411 | 2.411 | |
| 8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.422 |
| 9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | |
| 10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.461 |
| 11 Peso específico aparente del filler | gr/cc. | 1.47 | 1.47 | 1.47 | |
| 12 Altura promedio de la briqueta | cm. | 7.03 | 7 | 7.23 | |
| 13 Peso de la briqueta en el aire | gr. | 1266.59 | 1268.17 | 1236.71 | |
| 14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca | gr. | 1284 | 1282 | 1327.00 | |
| 15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C | gr. | 719.0 | 721 | 788.00 | |
| 16 Volumen de la briqueta 14-15 | c.c. | 565 | 561 | 539.0 | |
| 17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514) | gr/cc. | 2.242 | 2.261 | 2.294 | 2.266 |
| 18 Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc. | 2.378 | 2.378 | 2.378 | |
| 19 Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/5)+(3*2)/(7*8)+(4*2)/(9*10)) | gr/cc. | 2.348 | 2.348 | 2.348 | |
| 20 % de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 5.73 | 4.94 | 3.52 | 4.73 |
| 21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11)) | gr/cc. | 2.495 | 2.495 | 2.495 | |
| 22 Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11)) | gr/cc. | 2.530 | 2.530 | 2.530 | |
| 23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10)) | gr/cc. | 2.531 | 2.531 | 2.531 | |
| 24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | 0.58 | 0.58 | 0.58 | |
| 25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21 | % | 84.50 | 85.21 | 86.49 | |
| 26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20) | % | 9.77 | 9.85 | 10.00 | |
| 27 % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 15.50 | 14.79 | 13.51 | 14.60 |
| 28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4) | % | 4.47 | 4.47 | 4.47 | |
| 29 Relación betún vacíos (26/27)*100 | % | 63.02 | 66.59 | 73.98 | 67.86 |
| 30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo) | kg | 3399 | 3405 | 3518 | |
| 31 Factor de estabilidad | | 0.86 | 0.86 | 0.93 | |
| 32 Estabilidad corregida 31*32 | kg | 2923 | 2928 | 3272 | 3041 |
| 33 Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254) | pul. | 41 | 33 | 39 | 38 |
| 34 Fluencia | m.m. | 10.41 | 8.38 | 9.91 | |
| 35 Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | 2807 | 3493 | 3303 | 3201 |



Henry Rivadeneyra Oblitas
 USAT



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 27, 28 y 30 de Mayo - 03 y 06 de junio del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
 DETERMINACIÓN DE MEZCLA ASFALTICA OPTIMA [5.5%]

REFERENCIA : MTC E 504

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filler) | 1% |
| CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 | |

| | | |
|-----------------------------------|--------|------|
| Peso de Muestra | 1402.5 | |
| Peso de C.A | 82.5 | 5.5% |
| Peso del Cemento | 15 | |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 | |

| | |
|------------------|---------|
| Piedra | 631.125 |
| Arena | 771.38 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 82.5 |

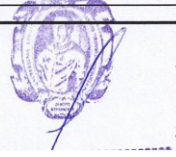
| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 39.02 | 36.87 |
| B Arena | 59.98 | 54.79 |
| C Filler | 1 | 8.34 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº4 | Nº10 | Nº40 | Nº80 | Nº200 |

| | | | | | | | | |
|-------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| MAC-2 | 100 | 80.1 | 70.9 | 61.0 | 51.4 | 23.5 | 15.3 | 8.0 |
| | 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 |

| Mezcla | Especificaciones IVB |
|--------|----------------------|
|--------|----------------------|

| 1 | Número de briqueata | # | 1 | 2 | 3 | Prom. |
|----|---|--------|---------|---------|---------|-------|
| 2 | C.A. en peso de la mezcla | % | 5.5 | 5.5 | 5.5 | |
| 3 | % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 36.87 | 36.87 | 36.87 | |
| 4 | % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 54.79 | 54.79 | 54.79 | |
| 5 | % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 1.89 | 1.89 | 1.89 | |
| 6 | Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc. | 1.023 | 1.023 | 1.023 | |
| 7 | Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.411 | 2.411 | 2.411 | |
| 8 | Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.422 |
| 9 | Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | |
| 10 | Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.461 |
| 11 | Peso específico aparente del filler | gr/cc. | 1.47 | 1.47 | 1.47 | |
| 12 | Altura promedio de la briqueata | cm. | 6.91 | 7.34 | 6.87 | |
| 13 | Peso de la briqueata en el aire | gr. | 1252.97 | 1310.25 | 1219.2 | |
| 14 | Peso de la briqueata saturada superficialmente seca | gr. | 1279 | 1326 | 1234.00 | |
| 15 | Peso de la briqueata en el agua 25 °C | gr. | 716.00 | 732 | 680.00 | |
| 16 | Volumen de la briqueata 14-15 | c.c. | 563 | 594 | 554.0 | |
| 17 | Peso unitario de la briqueata 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514) | gr/cc. | 2.226 | 2.206 | 2.201 | 2.211 |
| 18 | Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc. | 2.327 | 2.327 | 2.327 | |
| 19 | Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$ | gr/cc. | 2.333 | 2.333 | 2.333 | |
| 20 | % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 4.38 | 5.23 | 5.44 | 5.02 |
| 21 | Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$ | gr/cc. | 2.495 | 2.495 | 2.495 | |
| 22 | Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$ | gr/cc. | 2.530 | 2.530 | 2.530 | |
| 23 | Peso específico efectiva del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$ | gr/cc. | 2.489 | 2.489 | 2.489 | |
| 24 | Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | -0.10 | -0.10 | -0.10 | |
| 25 | % del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueata $(3+4) * 17/21$ | % | 83.45 | 82.71 | 82.52 | |
| 26 | % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata $100 - (25+20)$ | % | 12.17 | 12.07 | 12.04 | |
| 27 | % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 16.55 | 17.29 | 17.48 | 17.11 |
| 28 | Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$ | % | 5.59 | 5.59 | 5.59 | |
| 29 | Relación betún vacíos $(26/27) * 100$ | % | 73.55 | 69.78 | 68.86 | 70.73 |
| 30 | Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo) | kg | 2281 | 3417 | 3240 | |
| 31 | Factor de estabilidad | | 0.86 | 0.81 | 0.89 | |
| 32 | Estabilidad corregida $31 * 32$ | kg | 1962 | 2768 | 2884 | 2538 |
| 33 | Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$ | pul. | 37 | 35 | 35 | 36 |
| 34 | Fluencia | m.m. | 9.40 | 8.89 | 8.89 | |
| 35 | Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | 2068 | 3113 | 3244 | 2815 |



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tsc. Laboratorio USAT Universidad Católica



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 27, 28 y 30 de Mayo - 03 y 06 de junio del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
 DETERMINACIÓN DE MEZCLA ASFALTICA OPTIMA [6%]

REFERENCIA : MTC E 504

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filer) | 1% |
| CEMENTO/ASFALTICO PEN 60/70 | |

| | | |
|-----------------------------------|------|------|
| Peso de Muestra | 1395 | |
| Peso de C.A | 90 | 6.0% |
| Peso del Cemento | 15 | |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 | |

| | |
|------------------|--------|
| Piedra | 627.75 |
| Arena | 767.25 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 90 |

| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 39.02 | 36.68 |
| B Arena | 59.98 | 51.68 |
| C Filler | 1 | 11.64 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº4 | Nº10 | Nº40 | Nº80 | Nº200 |

| | |
|----------------------|--|
| Mezcla | |
| Especificaciones IVB | |

| | | | | | | | | |
|-------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| MAC-2 | 100 | 80.1 | 70.9 | 61.0 | 51.4 | 23.5 | 15.3 | 8.0 |
| | 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 |

| 1 | Número de briketa | # | 1 | 2 | 3 | Prom. |
|----|---|--------|---------|---------|---------|-------|
| 2 | C.A. en peso de la mezcla | % | 6.0 | 6.0 | 6.0 | |
| 3 | % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 36.68 | 36.68 | 36.68 | |
| 4 | % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 51.68 | 51.68 | 51.68 | |
| 5 | % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% para malla #200) | % | 4.70 | 4.70 | 4.70 | |
| 6 | Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc. | 1.023 | 1.023 | 1.023 | |
| 7 | Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.411 | 2.411 | 2.411 | |
| 8 | Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.422 |
| 9 | Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | |
| 10 | Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.461 |
| 11 | Peso específico aparente del filler | gr/cc. | 1.47 | 0.00 | 0.00 | |
| 12 | Altura promedio de la briketa | cm. | 7.06 | 6.93 | 6.65 | |
| 13 | Peso de la briketa en el aire | gr. | 1270.09 | 1261.27 | 1183.08 | |
| 14 | Peso de la briketa saturada superficialmente seca | gr. | 1283 | 1274 | 1197.00 | |
| 15 | Peso de la briketa en el agua | gr. | 723.00 | 715 | 688.00 | |
| 16 | Volumen de la briketa 14-15 | c.c. | 560 | 559 | 509.0 | |
| 17 | Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514) | gr/cc. | 2.268 | 2.256 | 2.324 | 2.283 |
| 18 | Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc. | 2.382 | 2.382 | 2.382 | |
| 19 | Máxima densidad teórica de las agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10)) | gr/cc. | 2.380 | 2.380 | 2.380 | |
| 20 | % de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 4.78 | 5.28 | 2.42 | 4.16 |
| 21 | Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11)) | gr/cc. | 2.574 | 2.574 | 2.574 | |
| 22 | Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11)) | gr/cc. | 2.611 | 2.611 | 2.611 | |
| 23 | Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10)) | gr/cc. | 2.577 | 2.577 | 2.577 | |
| 24 | Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | 0.04 | 0.04 | 0.04 | |
| 25 | % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21 | % | 81.99 | 81.57 | 84.03 | |
| 26 | % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20) | % | 13.22 | 13.16 | 13.55 | |
| 27 | % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 18.01 | 18.43 | 15.97 | 17.47 |
| 28 | Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4) | % | 5.97 | 5.97 | 5.97 | |
| 29 | Relación betún vacíos (26/27)*100 | % | 73.44 | 71.38 | 84.85 | 76.55 |
| 30 | Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo) | kg | 3535 | 3431 | 2720 | |
| 31 | Factor de estabilidad | | 0.86 | 0.89 | 1.00 | |
| 32 | Estabilidad corregida 34*32 | kg | 3040 | 3054 | 2720 | 2938 |
| 33 | Lectura del flexómetro (0.01") (35/0.354) | pul. | 37 | 34 | 36 | 36 |
| 34 | Fluencia | m.m. | 9.40 | 8.64 | 9.14 | |
| 35 | Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | 3234 | 3536 | 2975 | 3249 |



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tcc. Laboratorio USAT Universidad Católica



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 27, 28 y 30 de Mayo - 03 y 06 de junio del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE RICE

| PORCENTAJE DE ASFALTO | 4% | 4.5% | 5% | 5.5% | 6.0% |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1.- PESO DEL FRASCO | 730 | 730 | 730 | 730 | 730 |
| 2.- PESO DEL FRASCO + AGUA | 2565 | 2565 | 2565 | 2565 | 2565 |
| 3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05) | 1913 | 1974 | 1942 | 1969 | 1938 |
| 4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA | 3459.0 | 3392.0 | 3424.0 | 3356.0 | 3432.0 |
| 5.- PESO NETO DE LA MUESTRA | 1546 | 1418 | 1482 | 1387 | 1494 |
| 6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3) | 652 | 591 | 623 | 596 | 627 |
| PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6) | 2.370 | 2.398 | 2.378 | 2.327 | 2.382 |

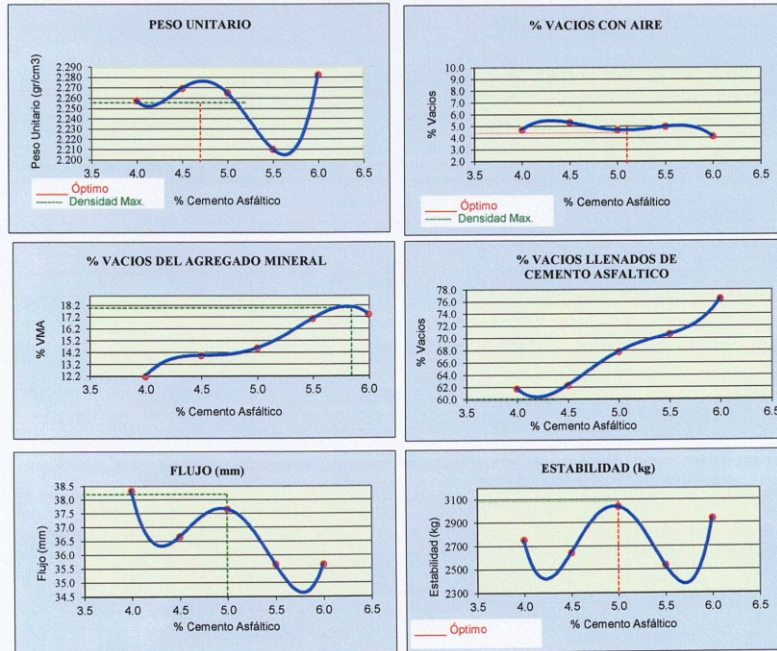




| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 27, 28 y 30 de Mayo - 03 y 06 de junio del 2025 |

REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO

REFERENCIA :METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245



| RESULTADOS | |
|-------------------------------------|--------|
| Óptimo Contenido C.A | 4.9 |
| Peso Unitario (gr/cm ²) | 2.3 |
| Vacios (%) | 4.5 |
| Vacios del Agregado mineral (%) | 18.0 |
| Vacios Llenados de C.A (%) | 60.0 |
| Flujo (mm) | 9.7 |
| Estabilidad (Kg) | 3085.0 |
| Relación Polvo Asfalto | 0.6 |

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



| | |
|-----------------|---|
| TESISTA | : Edwin Davila Herrera |
| ESCUELA | : Escuela de Ingeniería Civil |
| TESIS | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| LUGAR | : Chiclayo - Lambayeque |
| FECHA DE ENSAYO | : 16 de abril del 2025 |

ENSAYO : PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS

REFERENCIA : ASTM D 5821 / MTC E 210

| | |
|---------|-------------------|
| Muestra | : Piedra chancada |
| Cantera | : La Victoria |

Muestra usada : 57800 g

A.- CON UNA CARA FRACTURADA.

| TAMIZ | | PESO MÍNIMO REQUERIDO | PESO MUESTRA A | PESO MATERIAL CON UNA CARA FRACT. B | PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA C = ((B/A)*100) | PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D | PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS E = C * D |
|--------|---------|-----------------------|----------------|-------------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| PASA | RETIENE | | | | | | |
| 3" | 2 1/2" | 30000.0 g. | 0.0 | --- | --- | 0.0 % | --- |
| 2 1/2" | 2" | 15000.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2" | 1 1/2" | 7500.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 1/2" | 1" | 3000.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1" | 3/4" | 1500.0 g. | 1000.0 | 165.2 | --- | 1000.0 % | --- |
| 3/4" | 1/2" | 500.0 g. | 500.0 | 186.9 | 37.4 % | 500.0 % | 186.9 % |
| 1/2" | 3/8" | 300.0 g. | 200.0 | 95.0 | 47.5 % | 200.0 % | 95.0 % |
| TOTAL | | 57800.0 g. | 1700.0 g. | 447.1 g. | --- | 1700.0 % | 281.9 % |

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 16.6%

B.- CON DOS CARAS FRACTURADAS.

| TAMIZ | | PESO MÍNIMO REQUERIDO | PESO MUESTRA A | PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B | PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA C = ((B/A)*100) | PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D | PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS E = C * D |
|--------|---------|-----------------------|----------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| PASA | RETIENE | | | | | | |
| 3" | 2 1/2" | 30000.0 g. | 0.0 | --- | --- | 0.0 % | --- |
| 2 1/2" | 2" | 15000.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2" | 1 1/2" | 7500.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 1/2" | 1" | 3000.0 g. | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1" | 3/4" | 1500.0 g. | 1000.0 | 310.0 | --- | 1000.0 % | --- |
| 3/4" | 1/2" | 500.0 g. | 500.0 | 240.0 | 48.0 % | 500.0 % | 240.0 % |
| 1/2" | 3/8" | 300.0 g. | 200.0 | 105.0 | 52.5 % | 200.0 % | 105.0 % |
| TOTAL | | 57800.0 g. | 1700.0 g. | 655.0 g. | --- | 1700.0 % | 345.0 % |

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 20.3%

NOTA: La partículas fracturadas fue determinado por masa.



Henry Rivadeneira Oblitas
USAT



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 07 de abril del 2025 |

ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

REFERENCIA : MTC E204 / ASTM C 136 / AASHTO TP 57

| | |
|---------|---------------|
| Muestra | : Agregados |
| Cantera | : La Victoria |

DATOS DE DISEÑO

| | |
|---------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filer) | 1% |

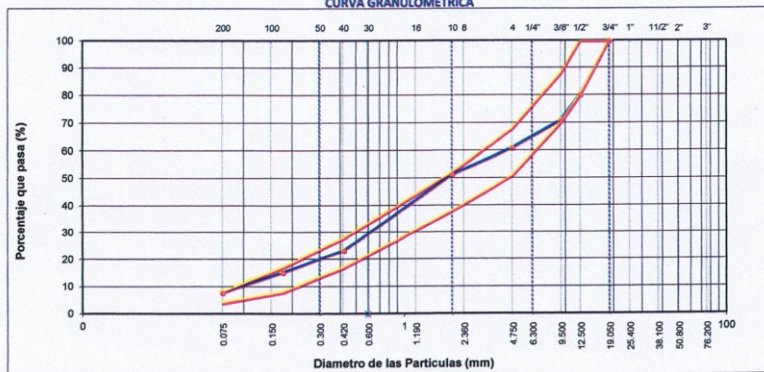
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70

TAMAÑO MÁXIMO : 3/4"
 Peso inicial seco : 10400 g

| TAMIZ | AASHTO T-27 (mm) | PESO RETENIDO | PORCENTAJE RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO | PORCENTAJE QUE PASA | ESPECIFICACION | DESCRIPCION DE LA MUESTRA |
|----------|------------------|---------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------------|
| 3" | 76.200 | | | | | MAC - 2 | |
| 3/4" | 19.000 | 0 | | | 100.0 | 100 | |
| 1/2" | 12.500 | 2070 | 19.9 | 19.9 | 80.1 | 80 | |
| 3/8" | 9.500 | 961 | 9.2 | 29.1 | 70.9 | 70 | |
| Nº 4 | 4.750 | 1027 | 9.9 | 39.0 | 61.0 | 51 | |
| Nº 10 | 2.000 | 346.0 | 9.6 | 48.6 | 51.4 | 38 | Observación: |
| Nº 40 | 0.425 | 1007.0 | 27.9 | 76.5 | 23.5 | 17 | |
| Nº 80 | 0.177 | 294.0 | 8.1 | 84.7 | 15.3 | 8 | |
| Nº 200 | 0.075 | 266.0 | 7.4 | 92.0 | 8.0 | 4 | |
| < Nº 200 | FONDO | 287.0 | 8.0 | 100.0 | | | |

6258

CURVA GRANULOMÉTRICA



Henry Rivadeneira Oblitas
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Ttc. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 16 de junio del 2025 |
| ENSAYO | : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MEZCLA ASFALTICA OPTIMA [4.9%] "MUESTRA PATRON" |
| REFERENCIA | : MTC E 504 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filler) | 1% |
| CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 | |

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Peso de Muestra | 1411.5 |
| Peso de C.A | 73.5 4.90% |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 |

| | |
|------------------|---------|
| Piedra | 635.175 |
| Arena | 776.3 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 73.5 |

| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 41.41 | 39.38 |
| B Arena | 57.59 | 53.82 |
| C Filler | 1 | 6.80 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº4 | Nº10 | Nº40 | Nº200 |
| 100 | 78.9 | 69.1 | 58.6 | 49.4 | 22.6 | 14.7 | 7.6 |
| 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 |

| 1 | Número de briqueleta | # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Prom. |
|----|---|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| 2 | C.A. en peso de la mezcla | % | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| 3 | % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 |
| 4 | % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 |
| 5 | % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| 6 | Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc. | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 |
| 7 | Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 |
| 8 | Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 |
| 9 | Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 |
| 10 | Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 |
| 11 | Peso específico aparente del filler | gr/cc. | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 |
| 12 | Altura promedio de la briqueleta | cm. | 6.91 | 7.06 | 6.59 | 6.5 | 6.3 | 6.7 | 6.45 | 6.5 | 6.5 |
| 13 | Peso de la briqueleta en el aire | gr. | 1261.6 | 1279.37 | 1261.7 | 1262.5 | 1263.5 | 1250.0 | 1232 | 1216 | 1216 |
| 14 | Peso de la briqueleta saturada superficialmente seca | gr. | 1278.34 | 1295 | 1295.0 | 1306.11 | 1314.44 | 1322.8 | 1331.1 | 1339.43 | 1339.43 |
| 15 | Peso de la briqueleta en el agua 25 °C | gr. | 718.0 | 721 | 745 | 755.0 | 768.5 | 782 | 795.5 | 809 | 809 |
| 16 | Volumen de la briqueleta 14-15 | c.c. | 560.3 | 574 | 550 | 551.1 | 545.937 | 540.767 | 535.6 | 530.427 | 530.427 |
| 17 | Peso unitario de la briqueleta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514) | gr/cc. | 2.251 | 2.229 | 2.294 | 2.291 | 2.314 | 2.312 | 2.300 | 2.292 | 2.29 |
| 18 | Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc. | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 |
| 19 | Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10)) | gr/cc. | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 |
| 20 | % de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 5.01 | 5.96 | 3.22 | 3.48 | 2.49 | 2.61 | 3.09 | 3.41 | 3.66 |
| 21 | Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11)) | gr/cc. | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 |
| 22 | Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11)) | gr/cc. | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 |
| 23 | Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10)) | gr/cc. | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 |
| 24 | Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 25 | % del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueleta (3+4)*17/21 | % | 85.86 | 85.00 | 87.48 | 87.36 | 88.26 | 88.15 | 87.72 | 87.43 | 87.43 |
| 26 | % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueleta 100-(25+20) | % | 9.13 | 9.04 | 9.30 | 9.15 | 9.25 | 9.24 | 9.19 | 9.16 | 9.16 |
| 27 | % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 14.14 | 15.00 | 12.52 | 12.64 | 11.74 | 11.85 | 12.28 | 12.57 | 12.84 |
| 28 | Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4) | % | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 |
| 29 | Relación betún vacíos (26/27)*100 | % | 64.57 | 60.25 | 74.29 | 72.44 | 78.77 | 77.96 | 74.85 | 72.85 | 72.00 |
| 30 | Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo) | kg | 2805 | 2931 | 2530 | 2481 | 2343 | 2206 | 2068 | 2150 | 2150 |
| 31 | Factor de estabilidad | | 0.86 | 0.83 | 0.89 | 0.89 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.93 |
| 32 | Estabilidad corregida 31*32 | kg | 2805 | 2931 | 2530 | 2481 | 2343 | 2206 | 2068 | 2150 | 2439.28 |
| 33 | Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254) | pul. | 37 | 39 | 39 | 36 | 38 | 32 | 36 | 35 | 36.50 |
| 34 | Fluencia | m.m. | 9.40 | 9.91 | 9.91 | 9.14 | 9.65 | 8.13 | 9.14 | 8.89 | 8.89 |
| 35 | Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | 2985 | 2959 | 2554 | 2713 | 2428 | 2714 | 2262 | 2418 | 2629.06 |



Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 16 de junio del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MEZCLA
ASFALTICA OPTIMA [4.9%] + [1%] FIBRA DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO

REFERENCIA : MTC E 604

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filler) | 1% |
| CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 | |

| | | |
|-----------------------------------|--------|-------|
| Peso de Muestra | 1411.5 | |
| Peso de C.A | 73.5 | 4.90% |
| Peso del Cemento | 15 | |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 | |

| | |
|------------------------|---------|
| Piedra | 635.175 |
| Arena | 776.325 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 73.5 |
| Peso de fibra de acero | 1.5 |

| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 41.41 | 39.38 |
| B Arena | 57.59 | 53.82 |
| C Filler | 1 | 6.80 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº4 | Nº10 | Nº40 | Nº80 | Nº200 |
| 100 | 78.9 | 69.1 | 58.6 | 49.4 | 22.6 | 14.7 | 7.6 | |
| 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 | |

| 1 | Número de briqueata | # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Prom. |
|----|---|--------|--------|---------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 2 | C.A. en peso de la mezcla | % | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | |
| 3 | % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | |
| 4 | % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | |
| 5 | % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | |
| 6 | Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc. | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | |
| 7 | Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | |
| 8 | Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc. | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.422 |
| 9 | Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | |
| 10 | Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc. | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.461 |
| 11 | Peso específico aparente del filler | gr/cc. | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | |
| 12 | Altura promedio de la briqueata | cm. | 6.46 | 6.07 | 6.42 | 6.35 | 6.466 | 6.07 | 6.34 | 6.35 | |
| 13 | Peso de la briqueata en el aire | gr. | 1040.1 | 1079.12 | 1157.0 | 1183 | 1140 | 1080.0 | 1183 | 1157 | |
| 14 | Peso de la briqueata saturada superficialmente seca | gr. | 1134 | 1089 | 1166.0 | 1191 | 1154 | 1090.0 | 1191 | 1166 | |
| 15 | Peso de la briqueata en el agua | gr. | 660.0 | 601 | 650 | 658.0 | 652 | 612 | 664.0 | 660 | |
| 16 | Volumen de la briqueata | c.c. | 474.0 | 488 | 516 | 533.0 | 502 | 478 | 527.0 | 506 | |
| 17 | Peso unitario de la briqueata | gr/cc. | 2.194 | 2.211 | 2.242 | 2.220 | 2.271 | 2.259 | 2.245 | 2.287 | 2.241 |
| 18 | Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc. | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | |
| 19 | Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10))) | gr/cc. | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | |
| 20 | % de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 7.42 | 6.70 | 5.40 | 6.49 | 4.32 | 4.81 | 5.42 | 3.66 | 5.53 |
| 21 | Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11)) | gr/cc. | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | |
| 22 | Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11)) | gr/cc. | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | |
| 23 | Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10)) | gr/cc. | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | 2.517 | |
| 24 | Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | |
| 25 | % del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueata (3+4)*17/21 | % | 83.68 | 84.33 | 85.51 | 84.64 | 86.60 | 86.16 | 85.61 | 87.20 | |
| 26 | % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata 100-(25+20) | % | 8.90 | 8.97 | 9.09 | 8.87 | 9.07 | 9.03 | 8.97 | 9.14 | |
| 27 | % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 16.32 | 15.67 | 14.49 | 15.36 | 13.40 | 13.84 | 14.39 | 12.80 | 14.53 |
| 28 | Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4) | % | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | |
| 29 | Relación betún vacíos (26/27)*100 | % | 54.52 | 57.22 | 62.74 | 57.75 | 67.73 | 65.25 | 62.32 | 71.38 | 62.36 |
| 30 | Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo) | kg | 3475 | 352 | 346 | 3122 | 3476 | 3525 | 3121 | 3462 | |
| 31 | Factor de estabilidad | | 1.14 | 1.09 | 1.00 | 0.90 | 1.50 | 0.95 | 1.10 | 1.00 | |
| 32 | Estabilidad corregida 31*32 | kg | 3475 | 352 | 346 | 3122 | 3476 | 3525 | 3121 | 3462 | 2610 |
| 33 | Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254) | pul. | 32 | 33 | 24 | 32 | 33 | 23 | 24 | 29 | 30 |
| 34 | Fluencia | m.m. | 8.13 | 8.38 | 24.00 | 8.13 | 8.38 | 5.84 | 6.10 | 7.37 | |
| 35 | Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | 4276 | 420 | 144 | 3841 | 4147 | 6034 | 5120 | 4700 | 1613 |



Henry Rivadeneyra Oblitas
USAT
Tec. Laboratorio USAT



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 16 de junio del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL [4.9%] + [2%] FIBRA DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO MEZCLA ASFALTICA OPTIMA

REFERENCIA : MTC E 504

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filler) | 1% |
| Fibra de acero | 2% |
| CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 | |

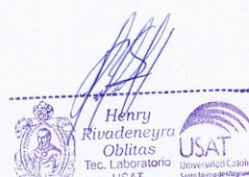
| | |
|-----------------------------------|--------|
| Peso de Muestra | 1411.5 |
| Peso de C.A | 73.5 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 |

| | |
|---------------------|---------|
| Piedra | 635.175 |
| Arena | 776.3 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 73.5 |
| Peso fibra de acero | 3 |

| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 41.41 | 39.38 |
| B Arena | 57.59 | 53.82 |
| C Filler | 1 | 6.80 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº4 | Nº10 | Nº40 | Nº200 |
| 100 | 78.9 | 69.1 | 58.6 | 49.4 | 22.6 | 14.7 | 7.6 |
| 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 |

| 1 | Número de briqueata | # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Prom. |
|----|---|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 2 | C.A. en peso de la mezcla | % | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| 3 | % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 |
| 4 | % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 |
| 5 | % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| 6 | Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 |
| 7 | Peso específico Bulk de la grava (#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 |
| 8 | Peso específico Aparente de la grava (#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.422 |
| 9 | Peso específico Bulk de la arena (#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 |
| 10 | Peso específico Aparente de la arena (#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.461 |
| 11 | Peso específico aparente del filler | gr/cc | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 |
| 12 | Altura promedio de la briqueata | cm. | 6.55 | 6.9 | 7.4 | 6.9 | 6.5 | 6.9 | 7.5 | 6.5 | |
| 13 | Peso de la briqueata en el aire | gr. | 1187 | 1264 | 1364.0 | 1283 | 1187 | 1265.0 | 1364 | 1283 | |
| 14 | Peso de la briqueata saturada superficialmente seca | gr. | 1187 | 1275 | 1375.0 | 1298 | 1194 | 1276.0 | 1375 | 1285 | |
| 15 | Peso de la briqueata en el agua | gr. | 675.0 | 721 | 790 | 755.0 | 656 | 705 | 780.0 | 715 | |
| 16 | Volumen de la briqueata 14-15 | c.c. | 512.0 | 554 | 585 | 543.0 | 538 | 571 | 595.0 | 570 | |
| 17 | Peso unitario de la briqueata 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514) | gr/cc | 2.318 | 2.282 | 2.332 | 2.363 | 2.206 | 2.215 | 2.292 | 2.251 | 2.282 |
| 18 | Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc | 2.398 | 2.398 | 2.398 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | |
| 19 | Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10))) | gr/cc | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | |
| 20 | % de vacíos con aire 100*((1-17)/18) (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 3.34 | 4.87 | 2.79 | 0.45 | 7.04 | 6.66 | 3.42 | 5.17 | 4.22 |
| 21 | Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/8)+(5/11)) | gr/cc | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | |
| 22 | Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11)) | gr/cc | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | |
| 23 | Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10)) | gr/cc | 2.551 | 2.551 | 2.551 | 2.551 | 2.551 | 2.551 | 2.551 | 2.551 | |
| 24 | Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | |
| 25 | % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueata (3+4)*17/21 | % | 88.41 | 87.01 | 88.92 | 90.11 | 84.14 | 84.49 | 87.42 | 85.84 | |
| 26 | % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata 100-(25+20) | % | 8.25 | 8.12 | 8.30 | 9.44 | 8.82 | 8.85 | 9.16 | 8.99 | |
| 27 | % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 11.59 | 12.99 | 11.08 | 9.89 | 15.86 | 15.51 | 12.58 | 14.16 | 12.96 |
| 28 | Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4) | % | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.65 | |
| 29 | Relación betún vacíos (26/27)*100 | % | 71.18 | 62.49 | 74.85 | 95.43 | 55.59 | 57.06 | 72.84 | 68.51 | 69.12 |
| 30 | Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo) | kg | 3318 | 3975 | 4296 | 2550 | 3321 | 3976 | 4299 | 3522 | |
| 31 | Factor de estabilidad | kg | 1.00 | 0.89 | 0.83 | 0.93 | 0.93 | 0.98 | 0.81 | 0.96 | |
| 32 | Estabilidad corregida 31*32 | kg | 3318 | 3975 | 4296 | 2550 | 3321 | 3976 | 4299 | 3522 | 3657 |
| 33 | Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254) | pul. | 29 | 32 | 27 | 35 | 29 | 31 | 27 | 35 | 31 |
| 34 | Fluencia | m.m. | 7.37 | 8.13 | 6.86 | 8.89 | 7.37 | 7.87 | 6.86 | 8.89 | |
| 35 | Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | 4504 | 4891 | 6264 | 2868 | 4509 | 5050 | 6269 | 3962 | 5220 |





| | |
|-----------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 16 de junio del 2025 |

ENSAYO : RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
MEZCLA ASFALTICA OPTIMA [4.9%] + [3%] FIBRA DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO

REFERENCIA : MTC E 504

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filer) | 1% |
| Fibra de acero | 3% |
| CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 | |

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Peso de Muestra | 1411.5 |
| Peso de C.A | 73.5 4.90% |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 |

| | |
|------------------------|---------|
| Piedra | 635.175 |
| Arena | 776.3 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 73.5 |
| peso de fibra de acero | 4.5 |

| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 41.41 | 39.38 |
| B Arena | 57.59 | 53.82 |
| C Filler | 1 | 6.80 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | N#4 | N#10 | N#40 | N#80 | N#200 |
| 100 | 78.9 | 69.1 | 58.6 | 49.4 | 22.6 | 14.7 | 7.6 | |
| 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 | |

| 1 | Número de briqueo | # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Prom. |
|----|--|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 2 | C.A. en peso de la mezcla | % | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| 3 | % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 |
| 4 | % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 |
| 5 | % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| 6 | Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc. | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 |
| 7 | Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASHTO T 85 , MTC E 206) | gr/cc. | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 |
| 8 | Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASHTO T 85 , MTC E 206) | gr/cc. | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 |
| 9 | Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128 , AASHTO T 84 , MTC E 205) | gr/cc. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 |
| 10 | Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128 , AASHTO T 84 , MTC E 205) | gr/cc. | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 |
| 11 | Peso específico aparente del filler | gr/cc. | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 |
| 12 | Altura promedio de la briqueo | cm. | 7 | 7.18 | 7.19 | 6.27 | 7.03 | 7.1 | 7.1 | 7.1 | 6.6 |
| 13 | Peso de la briqueo en el aire | gr. | 1273 | 1328 | 1266.0 | 1225 | 1273 | 1328.0 | 1267 | 1225 | |
| 14 | Peso de la briqueo saturada superficialmente seca | gr. | 1291 | 1333 | 1272.0 | 1229 | 1291 | 1333.0 | 1273 | 1229 | |
| 15 | Peso de la briqueo en el agua 25 °C | gr. | 718.0 | 750 | 715 | 675.0 | 710 | 735 | 696.0 | 670 | |
| 16 | Volumen de la briqueo 14-15 | cc. | 573.0 | 583 | 557 | 554.0 | 581 | 598 | 577.0 | 559 | |
| 17 | Peso unitario de la briqueo 13/16 (ASTM D 2726 , MTC E 514) | gr/cc. | 2.222 | 2.278 | 2.273 | 2.211 | 2.191 | 2.221 | 2.196 | 2.191 | 2.223 |
| 18 | Peso específico teórico máximo (Nica) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc. | 2.378 | 2.378 | 2.378 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 |
| 19 | Máxima densidad teórica de los agregados $100 / [(2/6) + (3/2)(7+8) + (4/2)(9+10)]$ | gr/cc. | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 |
| 20 | % de vacíos con aire $100 * [(1-17/18)]$ (ASTM D 3203 , MTC E 505) | % | 6.58 | 4.21 | 4.42 | 6.84 | 7.69 | 6.44 | 7.49 | 7.67 | 6.42 |
| 21 | Peso específico Bulk del Agregado Total $100 - 2 / [(3/7) + (4/9) + (5/11)]$ | gr/cc. | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 |
| 22 | Peso específico Aparente del agregado total $100 - 21 / [(3/9) + (4/10) + (5/11)]$ | gr/cc. | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 |
| 23 | Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / [(3/P-8) + (4*P-10)]$ | gr/cc. | 2.527 | 2.527 | 2.527 | 2.527 | 2.527 | 2.527 | 2.527 | 2.527 | 2.527 |
| 24 | Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469 , MTC E 511) | % | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| 25 | % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueo $(3+4) * 17/21$ | % | 84.72 | 86.87 | 86.68 | 84.32 | 83.56 | 84.69 | 83.74 | 83.57 | |
| 26 | % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueo $100 - (25+20)$ | % | 8.70 | 8.92 | 8.90 | 8.84 | 8.76 | 8.87 | 8.77 | 8.76 | |
| 27 | % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 15.28 | 13.13 | 13.32 | 15.68 | 16.44 | 15.31 | 16.26 | 16.43 | 15.23 |
| 28 | Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$ | % | 4.01 | 4.01 | 4.01 | 4.01 | 4.01 | 4.01 | 4.01 | 4.01 | 4.01 |
| 29 | Relación betún vacíos $(26/27) * 100$ | % | 56.94 | 67.92 | 66.80 | 56.37 | 53.25 | 57.96 | 53.96 | 53.30 | 98.20 |
| 30 | Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo) | kg | 4413 | 4971 | 4809 | 3740 | 4411 | 4971 | 4810 | 3742 | 4483 |
| 31 | Factor de estabilidad | | 0.86 | 0.83 | 0.89 | 0.89 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.89 |
| 32 | Estabilidad corregida $31 * 32$ | kg | 4413 | 4971 | 4809 | 3740 | 4411 | 4971 | 4810 | 3742 | 4483 |
| 33 | Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$ | pul. | 28 | 24 | 22 | 29 | 27 | 24 | 22 | 29 | 26 |
| 34 | Fluencia | m.m. | 7.11 | 6.10 | 5.59 | 7.37 | 6.86 | 6.10 | 5.59 | 7.37 | |
| 35 | Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | 6205 | 8155 | 8606 | 5077 | 6432 | 8155 | 8608 | 5080 | 7040 |



Henry Rivadeneira Obilltas
Tec. Laboratorio USAT



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 16 de junio del 2025 |

ENSAYO

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
MEZCLA ASFALTICA OPTIMA [4.9%] + [4%] FIBRA DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO

REFERENCIA : MTC E 504

| | |
|-----------------------------|-----|
| Grava Chancada 3/4" | 45% |
| Arena Chancada 1/4" | 55% |
| Cemento (Filler) | 1% |
| Fibra de acero | 4% |
| CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 | |

| | |
|-----------------------------------|--------|
| Peso de Muestra | 1411.5 |
| Peso de C.A | 73.5 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso Total de la Mezcla Asfáltica | 1500 |

| | |
|------------------------|---------|
| Piedra | 635.175 |
| Arena | 776.3 |
| Peso del Cemento | 15 |
| Peso de C.A | 73.5 |
| Pesod e fibra de acero | 6 |

| Material | % Mezcla | % Diseño |
|-------------------|----------|----------|
| A Grava Triturada | 41.41 | 39.38 |
| B Arena | 57.59 | 53.82 |
| C Filler | 1 | 6.80 |

| % Que Pasa el Tamiz | | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|
| 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº4 | Nº10 | Nº40 | Nº80 | Nº200 |
| 100 | 78.9 | 69.1 | 58.6 | 49.4 | 22.6 | 14.7 | 7.6 | |
| 100 | 80 - 100 | 70 - 88 | 51 - 68 | 38 - 52 | 17 - 28 | 8 - 17 | 4 - 8 | |

| | # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Prom. |
|--|-------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 1 Número de briqueta | | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | |
| 2 C.A. en peso de la mezcla | % | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | 39.38 | |
| 3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4) | % | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | 53.82 | |
| 4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4) | % | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | |
| 5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200) | % | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | 1.023 | |
| 6 Peso específico aparente de cemento asfáltico | gr/cc | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | 2.411 | |
| 7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.432 | 2.422 |
| 8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206) | gr/cc | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.451 | |
| 9 Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.470 | 2.461 |
| 10 Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205) | gr/cc | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | 1.47 | |
| 11 Peso específico aparente del filler | gr/cc | 6.91 | 7.06 | 6.59 | 6.53333 | 6.37333 | 6.21333 | 6.05333 | 5.89333 | |
| 12 Altura promedio de la briqueta | cm. | 1261.6 | 1279.37 | 1261.7 | 1267.59 | 1267.62 | 1267.6 | 1267.67 | 1267.69 | |
| 13 Peso de la briqueta en el aire | gr. | 718.0 | 721 | 745 | 755.0 | 768.5 | 782 | 795.5 | 789 | |
| 14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca | gr. | 560.3 | 574 | 550 | 551.1 | 545.937 | 540.767 | 535.6 | 550.427 | |
| 15 Peso de la briqueta en el agua | gr. | 2.251 | 2.229 | 2.294 | 2.300 | 2.322 | 2.344 | 2.367 | 2.303 | 2.258 |
| 16 Volumen de la briqueta 14-15 | cc. | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | 2.374 | |
| 17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514) | gr/cc | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | 2.330 | |
| 18 Peso específico técnico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508) | gr/cc | 5.14 | 6.09 | 3.35 | 3.09 | 2.17 | 1.24 | 0.28 | 2.97 | 4.86 |
| 19 Máxima densidad teórica de las agregadas 100/((2/6)+(3/2)+(7+8)+(4*2)/(9+10)) | gr/cc | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | 2.469 | |
| 20 % de vacíos con aire 100*((1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505) | % | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | 2.504 | |
| 21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11)) | gr/cc | 2.521 | 2.521 | 2.521 | 2.521 | 2.521 | 2.521 | 2.521 | 2.521 | |
| 22 Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11)) | gr/cc | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | |
| 23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10)) | gr/cc | 85.86 | 85.00 | 87.48 | 87.71 | 88.55 | 89.40 | 90.26 | 87.83 | |
| 24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511) | % | 9.00 | 8.91 | 9.17 | 9.19 | 9.28 | 9.37 | 9.46 | 9.20 | |
| 25 % del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21 | % | 14.14 | 15.00 | 12.52 | 12.29 | 11.45 | 10.60 | 9.74 | 12.17 | 13.89 |
| 26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20) | % | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | |
| 27 % vacíos del agregado mineral 100-25 | % | 63.63 | 59.37 | 73.21 | 74.81 | 81.01 | 88.33 | 97.10 | 75.62 | 65.41 |
| 28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4) | % | 0.86 | 0.83 | 0.89 | 0.89 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.89 | |
| 29 Relación betún vacíos (26/27)*100 | kg | 2805 | 2931 | 2530 | 2481 | 2343 | 2206 | 2068 | 1991 | |
| 30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo) | kg | 37 | 39 | 39 | 39 | 38 | 40 | 41 | 40 | 38 |
| 31 Factor de estabilidad | kg | 9.40 | 9.91 | 9.91 | 9.91 | 9.65 | 10.16 | 10.41 | 10.16 | |
| 32 Estabilidad corregida 31*32 | kg | 2985 | 2959 | 2554 | 2504 | 2428 | 2171 | 1986 | 1901 | 2833 |
| 33 Lectura del flexímetro (0.01" / 35 / 0.254) | m.m. | | | | | | | | | |
| 34 Fluencia | m.m. | | | | | | | | | |
| 35 Relación Estabilidad / Fluencia | m.m. | | | | | | | | | |





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|------------------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 16 de junio del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE RICE

| PORCENTAJE DE ASFALTO | 4.90% | 4.9-1% | 4.9-2% | 4.9-3% | 4.9-4% |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.- PESO DEL FRASCO | 730 | 730 | 730 | 730 | 730 |
| 2.- PESO DEL FRASCO + AGUA | 2565 | 2565 | 2565 | 2565 | 2565 |
| 3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05) | 1913 | 1974 | 1942 | 1989 | 1999 |
| 4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA | 3459.0 | 3392.0 | 3424.0 | 3356.0 | 3345.0 |
| 5.- PESO NETO DE LA MUESTRA | 1546 | 1418 | 1482 | 1367 | 1346 |
| 6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3) | 652 | 591 | 623 | 576 | 566 |
| PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6) | 2.370 | 2.398 | 2.378 | 2.374 | 2.378 |

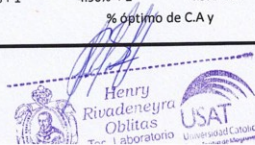
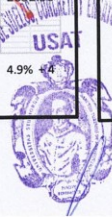
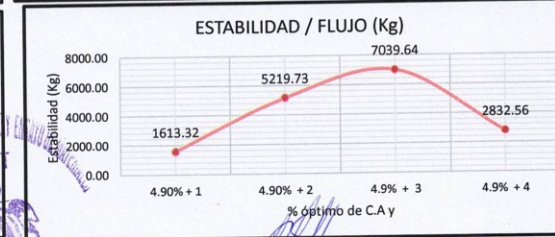
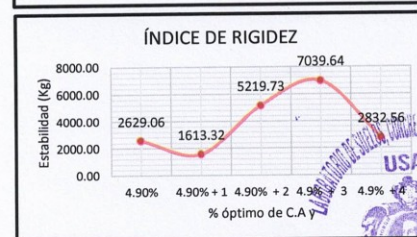
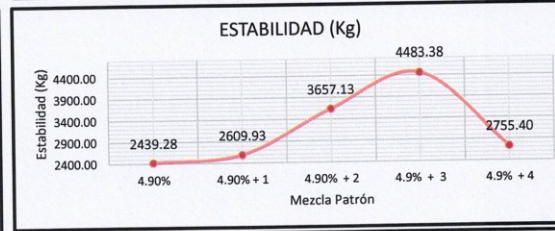
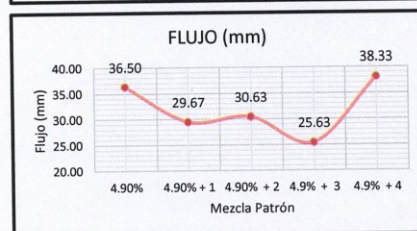
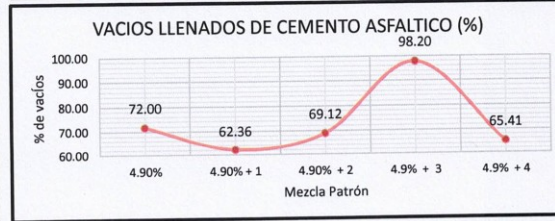
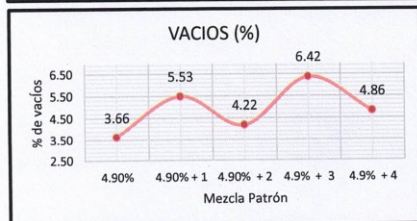
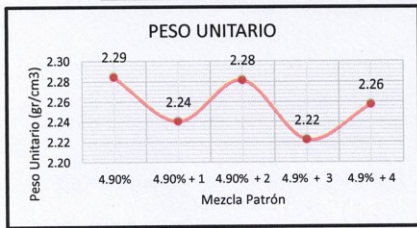


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 16 de junio del 2025 |

| RESULTADOS | | | |
|-------------------------------------|-------|----------------------------|---------|
| Optimo Contenido C.A | 4.90 | Vacios Llenados de C.A (%) | 98.20 |
| Peso Unitario (gr/cm ²) | 2.22 | Flujo (mm) | 25.6 |
| Vacios (%) | 6.42 | Estabilidad (Kg) | 4483.4 |
| Vacios del Agregado mineral (%) | 15.23 | Índice de Rigidez (kg/cm) | 1749.61 |

| Relación Pen-Filler | Peso Unitario (gr/cm ²) | Vacios (%) | Vacios del agregado Mineral (%) | Vacios Llenados de C.A (%) | Flujo (mm) | Estabilidad (Kg) | Relación Polvo Asfalto | Relación Estabilidad Flujo |
|---------------------|-------------------------------------|------------|---------------------------------|----------------------------|------------|------------------|------------------------|----------------------------|
| 4.90% | 2.29 | 3.66 | 12.84 | 72.00 | 36.50 | 2439.28 | 1.23 | 2629.06 |
| 4.90% + 1 | 2.24 | 5.53 | 14.53 | 62.36 | 29.67 | 2609.93 | 1.23 | 1613.32 |
| 4.90% + 2 | 2.28 | 4.22 | 12.96 | 69.12 | 30.63 | 3657.13 | 1.23 | 5219.73 |
| 4.9% + 3 | 2.22 | 6.42 | 15.23 | 98.20 | 25.63 | 4483.38 | 1.23 | 7039.64 |
| 4.9% + 4 | 2.26 | 4.86 | 13.89 | 65.41 | 38.33 | 2755.40 | 1.23 | 2832.56 |





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



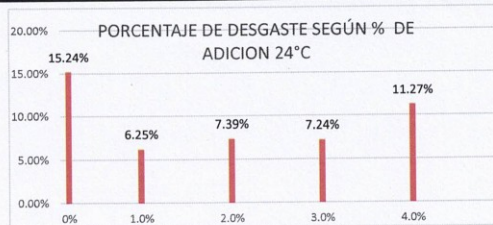
| | |
|-----------------|---|
| TESISTA | : Edwin Davila Herrera |
| ESCUELA | : Escuela de Ingeniería Civil |
| TESIS | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| LUGAR | : Chiclayo - Lambayeque |
| FECHA DE ENSAYO | : 16 de junio del 2025 |

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

| | | | |
|---------------------|-----|----|----|
| Grava Chancada 1/2" | 42% | | |
| Arena Chancada 1/4" | 57% | | |
| Cemento | 1% | | |
| Fibra de acero | 0% | 1% | 4% |

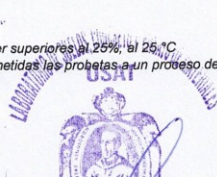
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70

| ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS | | | | | | | |
|--|----------------|------------------|----------------|--------------|------------|------------|----------|
| N° DE BRIQUETA | TIPO DE MEZCLA | % FIBRA DE ACERO | TEMPERATURA °C | PESO INICIAL | PESO FINAL | % DESGASTE | PROMEDIO |
| 1 | PATRÓN | 0% | 24°C | 1101.80 | 979.9 | 11.06% | 15.24% |
| 2 | PATRÓN | | 24°C | 1128.00 | 941.4 | 16.54% | |
| 3 | PATRÓN | | 24°C | 1128.00 | 942.4 | 16.45% | |
| 4 | PATRÓN | | 24°C | 1035.80 | 860.7 | 16.90% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 1.0% | 24°C | 1233.70 | 1139.15 | 7.66% | 6.25% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1255.63 | 1186.96 | 5.47% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1252.53 | 1186.74 | 5.25% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1250.84 | 1156.09 | 7.57% | |
| 5 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1272.10 | 1205 | 5.27% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 2.0% | 24°C | 1232.76 | 1125.1 | 8.73% | 7.39% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1167.66 | 1105 | 5.37% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1167.66 | 998.34 | 14.50% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1135.62 | 1107.24 | 2.50% | |
| 5 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1259.46 | 1175.99 | 6.63% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 3.0% | 24°C | 1100.19 | 1024 | 6.93% | 7.24% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1309.10 | 1245 | 4.90% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1324.00 | 1150 | 13.14% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1272.00 | 1145 | 9.98% | |
| 5 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1139.00 | 1125 | 1.23% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 4.0% | 24°C | 1145.20 | 985 | 13.99% | 11.27% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1163.50 | 979 | 15.86% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1163.50 | 1085 | 6.75% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1148.90 | 1074 | 6.52% | |
| 5 | PATRÓN + FIBRA | | 24°C | 1189.60 | 1032 | 13.25% | |



NOTA:

El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25% a 25 °C.
 El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%



Henry
Rivadeneira



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| TESISTA | : Edwin Davila Herrera |
| ESCUELA | : Escuela de Ingeniería Civil |
| TESIS | : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| LUGAR | : Chiclayo - Lambayeque |
| FECHA DE ENSAYO | : 16 de junio del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS

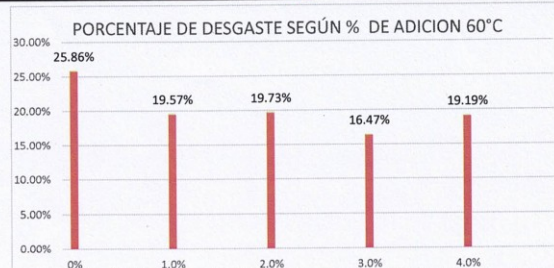
REFERENCIA : MTC E 515

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

| | | | |
|---------------------|-----|----|----|
| Grava Chancada 1/2" | 42% | | |
| Arena Chancada 1/4" | 57% | | |
| Cemento | 1% | 1% | 4% |
| Fibra de acero | 0% | | |

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70

| ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----------------|--------------|------------|------------|----------|
| N° DE BRIQUETA | TIPO DE MEZCLA | % DE FIBRA DE ACERO | TEMPERATURA °C | PESO INICIAL | PESO FINAL | % DESGASTE | PROMEDIO |
| 1 | PATRÓN | 0% | 60°C | 1245.00 | 875 | 29.72% | 25.86% |
| 2 | PATRÓN | | 60°C | 1198.00 | 862 | 28.05% | |
| 3 | PATRÓN | | 60°C | 1175.00 | 958 | 18.47% | |
| 4 | PATRÓN | | 60°C | 1096.00 | 798 | 27.19% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 1.0% | 60°C | 1327.40 | 1052 | 20.75% | 19.57% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1306.50 | 1075 | 17.72% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1240.80 | 985 | 20.62% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1206.85 | 975 | 19.21% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 2.0% | 60°C | 1232.76 | 985 | 20.10% | 19.73% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1167.66 | 945 | 19.07% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1167.66 | 924 | 20.87% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1135.62 | 921 | 18.90% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 3.0% | 60°C | 1100.19 | 915 | 16.83% | 16.47% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1309.10 | 1085 | 17.12% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1324.00 | 1124 | 15.11% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1272.00 | 1058 | 16.82% | |
| 1 | PATRÓN + FIBRA | 4.0% | 60°C | 1145.20 | 920 | 19.66% | 19.19% |
| 2 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1163.50 | 924 | 20.58% | |
| 3 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1163.50 | 948 | 18.52% | |
| 4 | PATRÓN + FIBRA | | 60°C | 1148.90 | 942 | 18.01% | |



NOTA:

El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, a 25 °C

El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%



Henry Rivadeneira Obillos
 INCAT



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 28 de setiembre del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR
 REFERENCIA: MTC E - 522

MUESTRA MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A.

| DATOS | | MUESTRAS SUMERGIDAS | | | | MUESTRAS SECAS | | | | |
|-------|---|---------------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|--------|
| - | Número de briqueta | # | 1 | 2 | 3 | Prom. | 5 | 6 | 7 | Prom. |
| D | Diametro | cm | 10.2 | 10.2 | 10.2 | | 10.16 | 10.16 | 10.16 | |
| t | Espesor | cm | 6.08 | 6.29 | 6.07 | | 6.04 | 6.13 | 5.97 | |
| A | Peso de la muestra Seca al Aire | gr | 1133.2 | 1130.3 | 1101.7 | 1121.7 | 1084.6 | 1139.8 | 1077.9 | 1100.8 |
| B | SSD de la Muestra | gr | 1137.00 | 1135.00 | 1105.00 | | 1090.00 | 1145.00 | 1085.00 | |
| C | Peso de la Muestra en Agua | gr | 678.36 | 693.09 | 654.36 | | 588.87 | 677.11 | 621.83 | |
| E | Volumen (B -C) | cc | 458.6 | 441.9 | 450.6 | | 501.1 | 467.9 | 463.2 | |
| F | Peso específico Bulk de la briqueta (A/E) | gr/cc | 2.471 | 2.558 | 2.445 | 2.5 | 2.164 | 2.436 | 2.327 | 2.3 |
| G | Peso específico teórico máximo (Rice) | gr/cc | 2.726 | 2.726 | 2.726 | 2.7 | 2.726 | 2.726 | 2.726 | 2.7 |
| H | % de vacíos ((G - F)/G)*100 | % | 9.37 | 6.18 | 10.33 | 8.6 | 20.61 | 10.65 | 14.64 | 15.3 |
| I | Volumen de vacíos ((H*E)/100) | cc | 42.98 | 27.32 | 46.54 | | 103.30 | 49.81 | 67.80 | |

| Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C | | | | | | |
|--|---------------------------------------|----|---------|---------|---------|--|
| B' | SSD de la Muestra | gr | 1150.40 | 1170.70 | 1109.80 | |
| C' | Peso de la Muestra en Agua | gr | 585.00 | 652.00 | 575.00 | |
| E' | Volumen de la Muestra (B' - C') | cc | 565.4 | 518.7 | 534.8 | |
| J' | Volumen de Agua de Absorción (B' - A) | cc | 17.2 | 40.4 | 8.1 | |
| - | Saturación (100*J'/I) | % | 40.0 | 147.9 | 17.4 | |
| - | Hinchamiento (E' - E)*100/E | % | 23.28 | 17.38 | 18.68 | |

| Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María | | | | | | |
|---|--|--------|----------|----------|----------|----------|
| t'' | Espesor | cm | 6.5 | 6.8 | 6.9 | |
| B'' | SSD de la Muestra | gr | 1163.90 | 1166.50 | 1141.80 | |
| C'' | Peso de la Muestra en Agua | gr | 678.00 | 620.00 | 632.00 | |
| E'' | Volumen (B'' - C'') | cc | 485.9 | 546.5 | 509.8 | |
| J'' | Volumen de Agua de Absorción (B'' - A) | cc | 30.7 | 36.2 | 40.1 | |
| - | Saturación (100*J''/I) | % | 71.4 | 132.5 | 86.2 | |
| - | Hinchamiento (E'' - E)*100/E | % | 4.82 | 20.16 | 11.06 | |
| - | Carga Máxima Kg | kg | 295 | 285 | 325 | 320 |
| - | Carga Máxima N | N | 2893.950 | 2795.850 | 3188.250 | 2959.350 |
| - | Fuerza Tensible KPA | kg/cm2 | 2.84 | 2.63 | 2.95 | 2.81 |

RAZON DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) = 80.000%

NOTA:
 El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A.

| MEZCLA SIN ADICIÓN PESADO | |
|--|---------------|
| PORCENTAJE DE ASFALTO | 4.7% |
| 1.- PESO DEL FRASCO | 439 |
| 2.- PESO DEL FRASCO + AGUA | 1326 |
| 3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05) | 959 |
| 4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA | 1959.2 |
| 5.- PESO NETO DE LA MUESTRA | 1000 |
| 6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3) | 367 |
| PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6) | 2.7263 |



Henry Rivadeneira Oblitas
Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTO TORIBIO DE MUGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACION DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 28 de setiembre del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR
REFERENCIA: MTC E - 522

MUESTRA MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A. + 1% DE FIBRA DE ACERO

| DATOS | | MUESTRAS SUMERGIDAS | | | | | | MUESTRAS SECAS | | | | | | |
|---------------------|--|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| - Número de briketa | # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Prom. | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Prom. |
| D | Diámetro | cm | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 |
| f | Espesor | cm | 5.65 | 5.725 | 5.61 | 5.61 | 5.61 | 5.61 | 6.005 | 6.53 | 5.99 | 5.99 | 5.99 | 5.99 |
| A | Peso de la muestra Seca al Aire | gr | 1117.6 | 1160.1 | 1120.3 | 1125.6 | 1122.6 | 1124.0 | 1132.7 | 1031.2 | 1005.8 | 1017.8 | 1016.5 | 1017.5 |
| B | SSD de la Muestra | gr | 1123.10 | 1166.50 | 1123.50 | 1124.60 | 1112.50 | 1124.00 | 1039.30 | 1014.30 | 1024.80 | 1033.00 | 1023.50 | 1023.50 |
| C | Peso de la Muestra en Agua | gr | 578.36 | 593.00 | 554.26 | 552.00 | 542.00 | 560.00 | 528.87 | 527.11 | 521.81 | 531.00 | 525.00 | 525.00 |
| E | Volumen (B - C) | cc | 544.7 | 573.4 | 569.1 | 572.2 | 570.5 | 564.0 | 510.4 | 487.2 | 503.0 | 501.0 | 498.5 | 498.5 |
| F | Peso específico Bulk de la briketa (A/E) | gr/cc | 2.052 | 2.023 | 1.968 | 1.967 | 1.968 | 1.993 | 2.0 | 2.024 | 2.064 | 2.024 | 2.029 | 2.031 |
| G | Peso específico teórico (Rice) | gr/cc | 2.301 | 2.301 | 2.301 | 2.301 | 2.301 | 2.301 | 2.3 | 2.301 | 2.301 | 2.301 | 2.301 | 2.3 |
| H | % de vacíos (G - F)/G*100 | % | 10.82 | 12.06 | 14.44 | 14.49 | 14.47 | 13.37 | 13.3 | 12.02 | 10.26 | 12.04 | 11.81 | 11.72 |
| I | Volumen de vacíos ((H-E)/100) | cc | 58.96 | 69.15 | 82.18 | 82.94 | 82.54 | 75.43 | 61.33 | 50.00 | 60.57 | 59.16 | 58.40 | 58.40 |

| Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|--|--|--|--|
| B' | SSD de la Muestra | gr | 1121.40 | 1168.10 | 1128.80 | 1128.80 | 1124.00 | 1125.60 | | | | | | |
| C' | Peso de la Muestra en Agua | gr | 485.00 | 492.00 | 455.00 | 452.00 | 450.00 | 465.00 | | | | | | |
| E' | Volumen de la Muestra (B' - C') | cc | 636.4 | 716.1 | 673.8 | 676.8 | 674.0 | 660.6 | | | | | | |
| J' | Volumen de Agua de Absorción (B' - A) | cc | 3.8 | 8.0 | 8.5 | 3.2 | 1.4 | 1.6 | | | | | | |
| - | Saturación (100*J'/E') | % | 6.4 | 11.6 | 10.3 | 3.9 | 1.7 | 2.1 | | | | | | |
| - | Hinchamiento (E' - E)*100/E | % | 16.83 | 24.88 | 18.39 | 18.28 | 18.14 | 17.13 | | | | | | |

| Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| I* | Espesor | cm | 6.5 | 6.8 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | | | | | | |
| B* | SSD de la Muestra | gr | 1147.60 | 1200.00 | 1149.60 | 1135.90 | 1142.50 | 1140.10 | | | | | | |
| C* | Peso de la Muestra en Agua | gr | 578.00 | 590.00 | 552.00 | 550.00 | 549.00 | 563.00 | | | | | | |
| E* | Volumen (B* - C*) | cc | 569.6 | 610.0 | 597.6 | 585.9 | 593.5 | 577.1 | | | | | | |
| J* | Volumen de Agua de Absorción (B* - A) | cc | 30.0 | 39.9 | 29.3 | 10.3 | 19.9 | 16.1 | | | | | | |
| - | Saturación (100*J'/E') | % | 50.9 | 57.7 | 35.7 | 12.4 | 24.1 | 21.3 | | | | | | |
| - | Hinchamiento (E* - E)*100/E | % | 3.91 | 5.11 | 4.22 | 2.02 | 3.41 | 1.98 | | | | | | |
| - | Carga Máxima Kg | kg | 365 | 345 | 312 | 312 | 342 | 312 | 328 | 331.0 | 342 | 256.0 | 290 | 3035.2 |
| - | Carga Máxima N | N | 3580.650 | 3384.450 | 3149.010 | 3060.720 | 3355.020 | 3060.720 | 3265.095 | 3217.680 | 3247.110 | 3355.020 | 2511.360 | 2844.900 |
| - | Fuerza Tensible KPA | kg/cm2 | 3.52 | 3.18 | 2.92 | 2.83 | 3.11 | 2.84 | 3.06 | 3.42 | 3.18 | 3.58 | 2.44 | 3.03 |

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) = 97.925%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.





UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A. + 1% DE FIBRA DE ACERO

| MEZCLA SIN ADICIÓN PESADO + 0.25% Adición | |
|--|---------------|
| PORCENTAJE DE ASFALTO | 4.7% |
| 1.- PESO DEL FRASCO | 724 |
| 2.- PESO DEL FRASCO + AGUA | 2613 |
| 3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05) | 1961 |
| 4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA | 3461.0 |
| 5.- PESO NETO DE LA MUESTRA | 1500 |
| 6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3) | 652 |
| PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6) | 2.3006 |





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | : Edwin Davila Herrera |
| Escuela | : Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | : EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACION DE ACERO DE NEUMATICO RECICLADO |
| Lugar | : Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | : 28 de setiembre del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR
REFERENCIA: MTC E - 622

MUESTRA

MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A. + 2% DE FIBRA DE ACERO

| DATOS | | MUESTRAS SUMERGIDAS | | | | | | MUESTRAS SECAS | | | | | | |
|-------|---|---------------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| .. | Número de briqueta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Prom. | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Prom. |
| D | Diámetro | cm | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 |
| E | Espesor | cm | 6.08 | 6.29 | 6.07 | 6.07 | 6.07 | 6.07 | 6.04 | 6.13 | 5.97 | 5.97 | 5.97 | 5.97 |
| A | Peso de la muestra Seca al Aire | gr | 1063.7 | 1069.0 | 1130.3 | 1125.0 | 1112.0 | 1138.0 | 1106.0 | 1087.6 | 1050.9 | 1054.0 | 1063.0 | 1052.6 |
| B | SSD de la muestra | gr | 1069.0 | 1073.80 | 1136.60 | 1130.00 | 1125.00 | 1142.00 | 1095.5 | 1087.6 | 1050.9 | 1054.0 | 1063.0 | 1052.6 |
| C | Peso de la muestra en Agua | gr | 628.36 | 623.09 | 654.36 | 642.00 | 630.00 | 639.00 | 588.87 | 627.11 | 621.83 | 615.00 | 612.00 | |
| E | Volumen (B - C) | cc | 440.7 | 450.8 | 482.2 | 488.0 | 495.0 | 503.0 | 422.2 | 466.2 | 435.5 | 436.5 | 457.0 | |
| F | Peso específico Bulk de la briqueta (A/E) | gr/cc | 2.413 | 2.371 | 2.344 | 2.305 | 2.246 | 2.258 | 2.3 | 2.381 | 2.333 | 2.413 | 2.415 | 2.330 |
| G | Peso específico teórico máximo (Rice) | gr/cc | 2.547 | 2.547 | 2.547 | 2.547 | 2.547 | 2.547 | 2.5 | 2.547 | 2.547 | 2.547 | 2.547 | 2.5 |
| H | % de vacíos ((G - F)/G)*100 | % | 5.23 | 6.89 | 7.96 | 9.48 | 11.79 | 11.32 | 8.8 | 6.49 | 8.39 | 5.24 | 5.18 | 8.49 |
| I | Volumen de vacíos ((H*(F)/100) | cc | 23.06 | 31.05 | 38.41 | 46.25 | 58.35 | 56.93 | 27.40 | 39.13 | 22.82 | 22.63 | 38.81 | |

| Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|--|--|--|--|
| B' | SSD de la Muestra | gr | 1076.10 | 1086.60 | 1147.90 | 1142.50 | 1140.50 | 1145.90 | | | | | | |
| C' | Peso de la Muestra en Agua | gr | 565.00 | 581.00 | 585.00 | 565.00 | 578.00 | 574.00 | | | | | | |
| E' | Volumen de la Muestra (B' - C') | cc | 511.1 | 505.6 | 562.9 | 577.5 | 562.5 | 571.9 | | | | | | |
| J' | Volumen de Agua de Absorción (B' - A) | cc | 12.4 | 17.6 | 17.6 | 17.5 | 28.5 | 9.9 | | | | | | |
| - | Saturación (100*J'/E') | % | 53.8 | 56.7 | 45.8 | 37.8 | 48.8 | 17.4 | | | | | | |
| - | Hinchamiento (E' - E)*100/E | % | 15.96 | 12.15 | 16.73 | 18.34 | 13.64 | 13.70 | | | | | | |

| Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| I* | Espesor | cm | 6.3 | 6.8 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | | | | | | | |
| B* | SSD de la Muestra | gr | 1078.30 | 1084.80 | 1145.70 | 1136.80 | 1142.00 | 1139.00 | | | | | | |
| C* | Peso de la Muestra en Agua | gr | 622.00 | 620.00 | 552.00 | 542.00 | 536.00 | 596.00 | | | | | | |
| E* | Volumen (B* - C*) | cc | 456.3 | 464.8 | 593.7 | 594.8 | 606.0 | 543.0 | | | | | | |
| J* | Volumen de Agua de Absorción (B* - A) | cc | 14.6 | 15.8 | 15.4 | 11.8 | 30.0 | 3.0 | | | | | | |
| - | Saturación (100*J'/E') | % | 63.3 | 50.9 | 40.1 | 25.5 | 51.4 | 5.3 | | | | | | |
| - | Hinchamiento (E' - E)*100/E | % | 3.04 | 2.77 | 19.80 | 18.49 | 19.73 | 6.99 | | | | | | |
| - | Carga Máxima Kg | kg | 315 | 326 | 365 | 312 | 362 | 367 | 240 | 218.0 | 189 | 268 | 216 | |
| - | Carga Máxima N | N | 3090.150 | 3198.060 | 3580.650 | 3060.720 | 3551.220 | 3816.090 | 3382.815 | 2403.450 | 2215.160 | 2835.090 | 2590.030 | 2118.960 |
| - | Fuerza Tensible KPA | kg/cm2 | 3.04 | 3.00 | 3.31 | 2.83 | 3.29 | 3.53 | 3.17 | 2.54 | 2.41 | 3.03 | 2.76 | 2.27 |

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 321.711%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.





GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A. + 2% DE FIBRA DE ACERO

| MEZCLA SIN ADICIÓN PESADO | |
|--|--------|
| PORCENTAJE DE ASFALTO | 4.7% |
| 1.- PESO DEL FRASCO | 724 |
| 2.- PESO DEL FRASCO + AGUA | 2613 |
| 3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05) | 2024 |
| 4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA | 3524.0 |
| 5.- PESO NETO DE LA MUESTRA | 1500 |
| 6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3) | 589 |
| PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6) | 2.5467 |



Henry Obilias
Henry Obilias
Tec. Laboratorio
USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 28 de setiembre del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR

REFERENCIA: MTC E - 522

MUESTRA MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A. + 3% DE FIBRA DE ACERO

| DATOS | # | MUESTRAS SUMERGIDAS | | | | | | MUESTRAS SECAS | | | | | | |
|--|-------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Prom. | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Prom. |
| Número de briketa | | | | | | | | | | | | | | |
| D Diámetro | cm | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | |
| E Espesor | cm | 6.08 | 6.29 | 6.07 | 6.07 | 6.07 | 6.07 | | 6.04 | 6.13 | 5.97 | 5.97 | 5.97 | |
| A Peso de la muestra Seca al Aire | gr | 1079.3 | 1009.9 | 1021.3 | 1020.6 | 1024.6 | 1023.6 | 1029.9 | 1063.8 | 1116.2 | 911.9 | 956.5 | 921.5 | 994.0 |
| B SSD de la Muestra | gr | 1085.80 | 1016.40 | 1028.50 | 1028.50 | 1028.50 | 1028.50 | | 1074.00 | 1123.20 | 924.00 | 942.00 | 936.00 | |
| C Peso de la Muestra en Agua | gr | 678.36 | 613.09 | 624.36 | 623.10 | 620.50 | 621.60 | | 588.87 | 657.11 | 542.00 | 543.00 | 542.00 | |
| F Volumen (B-C) | cc | 408.4 | 403.3 | 404.1 | 405.4 | 408.0 | 406.9 | | 485.1 | 466.1 | 382.0 | 399.0 | 394.0 | |
| F Peso específico Bulk de la briketa (A/E) | gr/cc | 2.642 | 2.504 | 2.577 | 2.518 | 2.511 | 2.516 | 2.5 | 2.193 | 2.395 | 2.387 | 2.397 | 2.339 | 2.3 |
| G Peso específico teórico máximo (Rice) | gr/cc | 2.793 | 2.793 | 2.793 | 2.793 | 2.793 | 2.793 | 2.8 | 2.793 | 2.793 | 2.793 | 2.793 | 2.793 | 2.8 |
| H % de vacíos ((G - F)/G)*100 | % | 5.40 | 10.36 | 9.53 | 9.87 | 10.10 | 9.94 | 8.2 | 21.50 | 14.27 | 14.54 | 14.18 | 16.27 | 16.2 |
| I Volumen de vacíos ((H*E)/100) | cc | 22.05 | 41.77 | 38.51 | 40.03 | 41.19 | 40.45 | | 104.29 | 66.49 | 55.54 | 56.57 | 64.10 | |

| Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|--|--|--|--|--|
| B ¹ SSD de la Muestra | gr | 1097.20 | 1015.00 | 1023.60 | 1024.00 | 1028.00 | 1028.00 | | | | | | | |
| C ¹ Peso de la Muestra en Agua | gr | 625.00 | 572.00 | 575.00 | 563.00 | 550.00 | 562.00 | | | | | | | |
| E ¹ Volumen de la Muestra (B ¹ -C ¹) | cc | 472.2 | 443.0 | 450.6 | 461.0 | 478.0 | 464.0 | | | | | | | |
| J ¹ Volumen de Agua de Absorción (B ¹ -A) | cc | 17.9 | 5.1 | 4.3 | 3.4 | 3.4 | 2.4 | | | | | | | |
| - Saturación (100*J ¹ /I) | % | 81.2 | 12.2 | 11.2 | 8.5 | 8.3 | 5.9 | | | | | | | |
| - Hinchamiento (E ¹ -E ¹)*100/E | % | 15.61 | 9.84 | 11.50 | 13.71 | 17.16 | 14.03 | | | | | | | |

| Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| E ¹ Espesor | cm | 6.5 | 6.8 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | | | | | | | |
| B ¹ SSD de la Muestra | gr | 1097.00 | 1036.60 | 1066.40 | 1062.00 | 1068.00 | 1062.00 | | | | | | | |
| C ¹ Peso de la Muestra en Agua | gr | 678.00 | 620.00 | 632.00 | 635.00 | 624.00 | 612.00 | | | | | | | |
| E ¹ Volumen (B ¹ -C ¹) | cc | 419.0 | 416.6 | 434.4 | 427.0 | 444.0 | 450.0 | | | | | | | |
| J ¹ Volumen de Agua de Absorción (B ¹ -A) | cc | 17.7 | 26.7 | 45.1 | 41.4 | 43.4 | 38.4 | | | | | | | |
| - Saturación (100*J ¹ /I) | % | 80.3 | 63.9 | 117.1 | 103.4 | 105.4 | 94.9 | | | | | | | |
| - Hinchamiento (E ¹ -E ¹)*100/E | % | 2.24 | 3.00 | 6.72 | 4.69 | 7.53 | 9.29 | | | | | | | |
| - Carga Máxima Kg | kg | 215 | 265 | 236 | 246 | 215 | 245 | 175 | 180.0 | 136 | 165 | 178 | | |
| - Carga Máxima N | N | 2109.150 | 2580.030 | 2217.060 | 2413.260 | 2109.150 | 2403.450 | 2305.350 | 1716.750 | 1765.800 | 1334.160 | 1618.650 | 1746.180 | 1636.3 |
| - Fuerza Tensible KPA | kg/cm2 | 2.07 | 2.42 | 2.05 | 2.23 | 1.95 | 2.22 | 2.16 | 1.82 | 1.84 | 1.43 | 1.73 | 1.87 | 1.74 |

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 124.379%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A. + 3% DE FIBRA DE ACERO

| MEZCLA SIN ADICIÓN PESADO | |
|--|---------------|
| PORCENTAJE DE ASFALTO | 4.7% |
| 1.- PESO DEL FRASCO | 724 |
| 2.- PESO DEL FRASCO + AGUA | 2613 |
| 3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05) | 2076 |
| 4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA | 3576.0 |
| 5.- PESO NETO DE LA MUESTRA | 1500 |
| 6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3) | 537 |
| PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6) | 2.7933 |



Henry
Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



| | |
|-----------------|---|
| Tesista | Edwin Davila Herrera |
| Escuela | Escuela de Ingeniería Civil |
| Tesis | EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS PEN 60/70 EN CALIENTE CON INCORPORACION DE ACERO DE NEUMÁTICO RECICLADO |
| Lugar | Chiclayo - Lambayeque |
| Fecha de ensayo | 28 de setiembre del 2025 |

ENSAYO : ENSAYO DE LOTTOM MODIFICADO TSR
REFERENCIA: MTC E - 522

MUESTRA MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A. + 4% DE FIBRA DE ACERO

| DATOS | | MUESTRAS SUMERGIDAS | | | | | | MUESTRAS SECAS | | | | | | |
|---|-------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | # | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Prom. | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Prom. |
| - Número de briqueta | | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | |
| D Diametro | cm | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | 10.16 | |
| t Espesor | cm | 6.08 | 6.29 | 6.07 | 6.07 | 6.07 | 6.07 | | 6.04 | 6.13 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | |
| A Peso de la muestra Seca al Aire | gr | 1108.4 | 1111.6 | 1140.9 | 1139.5 | 1138.6 | 1132.4 | 1128.2 | 1110.2 | 1200.0 | 1156.5 | 1142.5 | 1136.5 | 1149.1 |
| B SSD de la Muestra | gr | 1114.40 | 1120.30 | 1147.20 | 1148.70 | 1145.60 | 1146.80 | | 1143.10 | 1209.19 | 1161.13 | 1152.00 | 1163.00 | |
| C Peso de la Muestra en Agua | gr | 678.36 | 693.00 | 654.36 | 654.36 | 654.36 | 654.36 | | 588.87 | 677.11 | 671.83 | 671.83 | 671.83 | |
| E Volumen (B - C) | cc | 436.0 | 427.2 | 492.8 | 494.3 | 491.2 | 494.5 | | 654.2 | 532.1 | 539.3 | 530.2 | 541.2 | |
| F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E) | gr/cc | 2.537 | 2.602 | 2.315 | 2.305 | 2.318 | 2.299 | 2.4 | 1.697 | 2.235 | 2.144 | 2.155 | 2.100 | 2.1 |
| G Peso específico teórico máximo (Hice) | gr/cc | 2.857 | 2.857 | 2.857 | 2.857 | 2.857 | 2.857 | 2.9 | 2.857 | 2.857 | 2.857 | 2.857 | 2.857 | 2.9 |
| H % de vacíos ((G - F)/G)*100 | % | 11.19 | 8.93 | 18.98 | 19.32 | 18.88 | 19.53 | 16.1 | 40.61 | 21.06 | 24.94 | 24.58 | 26.50 | 27.5 |
| I Volumen de vacíos ((H-E)/100) | cc | 48.80 | 38.15 | 93.53 | 95.52 | 92.73 | 96.20 | | 265.66 | 112.08 | 134.53 | 130.30 | 143.40 | |

| Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|--|--|--|--|--|
| B' SSD de la Muestra | gr | 1116.20 | 1126.50 | 1185.40 | 1175.90 | 1180.40 | 1183.20 | | | | | | | |
| C' Peso de la Muestra en Agua | gr | 625.00 | 662.00 | 585.00 | 578.00 | 565.00 | 579.50 | | | | | | | |
| E' Volumen de la Muestra (B' - C') | cc | 491.2 | 464.5 | 600.4 | 597.9 | 615.4 | 603.7 | | | | | | | |
| F' Volumen de Agua de Absorción (B' - A) | cc | 9.8 | 14.9 | 44.5 | 36.4 | 41.8 | 50.8 | | | | | | | |
| - Saturación (100*F'/E') | % | 20.1 | 39.1 | 47.6 | 38.1 | 48.1 | 52.8 | | | | | | | |
| - Hinchamiento (E' - E)/100/E | % | 12.65 | 8.73 | 21.82 | 20.95 | 25.27 | 22.57 | | | | | | | |

| Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| I* Espesor | cm | 6.5 | 6.8 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | | | | | | | |
| B* SSD de la Muestra | gr | 1143.90 | 1160.70 | 1178.80 | 1165.80 | 1162.50 | 1162.50 | | | | | | | |
| C* Peso de la Muestra en Agua | gr | 678.00 | 620.00 | 632.00 | 645.00 | 650.00 | 624.00 | | | | | | | |
| E* Volumen (B* - C*) | cc | 465.9 | 540.7 | 546.8 | 520.8 | 512.5 | 538.5 | | | | | | | |
| F* Volumen de Agua de Absorción (B* - A) | cc | 37.5 | 49.1 | 37.9 | 26.3 | 23.9 | 30.1 | | | | | | | |
| - Saturación (100*F'/E') | % | 76.8 | 128.7 | 40.5 | 27.5 | 25.8 | 31.3 | | | | | | | |
| - Hinchamiento (E* - E)/100/E | % | 6.08 | 24.43 | 8.99 | 4.43 | 3.45 | 7.61 | | | | | | | |
| - Carga Máxima Kg | kg | 242 | 236 | 275 | 262 | 230 | 248 | | 245 | 215.0 | 286 | 205 | 245 | |
| - Carga Máxima N | N | 2374.020 | 2315.160 | 2697.750 | 2570.220 | 2315.160 | 2432.880 | 2450.865 | 2402.450 | 2109.150 | 2805.660 | 2011.050 | 2403.450 | 2346.6 |
| - Fuerza Tensible KPA | kg/cm2 | 2.33 | 2.17 | 2.50 | 2.38 | 2.14 | 2.25 | 2.30 | 2.54 | 2.20 | 3.00 | 2.15 | 2.57 | 2.49 |

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 92.126%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.





**GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041**

MUESTRA PATRÓN 4.9% DE C.A. + 4% DE FIBRA DE ACERO

| MEZCLA SIN ADICIÓN PESADO | |
|--|--------|
| PORCENTAJE DE ASFALTO | 4.7% |
| 1.- PESO DEL FRASCO | 724 |
| 2.- PESO DEL FRASCO + AGUA | 2613 |
| 3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05) | 2088 |
| 4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA | 3588.0 |
| 5.- PESO NETO DE LA MUESTRA | 1500 |
| 6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3) | 525 |
| PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6) | 2.8571 |



TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

Anexo N°03: Conformidad de asesor

CONFORMIDAD DE ASESOR
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Chiclayo, 29 de octubre del 2025.

Señores

DOCENTE DE LA ASIGNATURA DE SEMINARIO DE TESIS II

LOPEZ CARRANZA, ATILIO RUBEN

Escuela Profesional de Ingeniería Civil-USAT

Presente.

Le expreso mi saludo y en mi condición de asesor doy mi **CONFORMIDAD** a la tesis titulada: **“Evaluación del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas pen 60/70 en caliente con incorporación de fibras de acero de neumático reciclado”**

Presentado por la estudiante **EDWIN DAVILA HERRERA** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil**, de esta manera se cumple con uno de los requisitos para su pase a sustentación del informe de tesis de acuerdo con el art.32 de reglamento de elaboración y sustentación del trabajo de investigación para optar el título profesional.

Atentamente.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'ROJAS OBLITAS JOAQUIN HERNAN', written over a horizontal dashed line.

Ing. ROJAS OBLITAS JOAQUIN HERNAN
Docente Asesor