

Portada

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Influencia del caucho reciclado en el comportamiento físico - mecánico en una
mezcla asfáltica en caliente, Abancay - 2024**

Asesor:

Ing. Cayo Baca, Holguer

Autores:

Huaylla Gutiérrez, Félix Antonio

Villavicencio Sihuincha, Teresa Pili

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025

Acta de sustentación



**Universidad
Tecnológica de los Andes**

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 021

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de marzo día martes del 04 siendo las 09:00 am, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0215-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 25 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel
Dictaminante :	Ing. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo
Replicante :	Ing. Silva Noriega, Fanny

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

"Influencia del caucho reciclado en el comportamiento físico - mecánico en una mezcla asfáltica en caliente, Abancay 2024".

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Huaylla Gutierrez, Felix Antonio

Br: Villavicencio Sihuincha, Teresa Pili

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Huaylla Gutierrez, Felix Antonio	Aprobado
Villavicencio Sihuincha, Teresa Pili	

Siendo las 10:20 de la mañana concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel

Dictaminante: Ing. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo

Replicante: Ing. Silva Noriega, Fanny

Abancay 06 de marzo del 2025

Se expide la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 325.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban.
Art. 9 RUGAT
(**) 0 a 10: Desaprobado; 11 a 15: Aprobado; 16 a 18: Aprobado Reserva; 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RUGAT.

Reporte de similitud






23% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 21%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 19%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Huaylla Gutiérrez, Félix Antonio
	: Villavicencio Sihuincha, Teresa Pili
Tipo de Documento de Identidad	: Documento Nacional de Identidad
Número de Documento de Identidad	: 45112945
	: 71000552
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0004-5742-0804
	: https://orcid.org/0009-0005-6045-4922
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Cayo Baca, Holguer
Tipo de Documento de Identidad	: Documento Nacional de Identidad
Número de Documento de Identidad	: 23933864
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-9590-750X
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 1 año
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 23%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mi padre Marcos Huaylla Velasque que me guía y cuida día a día desde el cielo, a mi Madre Virginia Gutiérrez Aedo la mujer que me guio y ser mi soporte en mi camino, a mi esposa hermano por brindarme su apoyo en esta etapa de superación.

Félix Antonio.

A mis padres; hermanos por ser el soporte y motivación en mis estudios. A mi esposo por ser el compañero inseparable y ser la razón de apasionarme por la ingeniera. También dedico a mi hijo Alejandro quien es la motivación de lucha.

Teresa Pili.

Agradecimiento

Doy gracias a Dios por brindarme salud y fortaleza a lo largo de este camino. A mi familia, por su constante apoyo y energía, que han sido fundamentales en cada paso que ha dado.

Félix Antonio.

Expresó mi agradecimiento a Dios por permitirme perseverar mis sueños, a mi familia por su comprensión y apoyo incondicional a lo largo de mis estudios. A mi asesor de tesis por guiarme y recomendarme a lo largo de este trabajo.

Teresa Pili.

Resumen

La presente tesis se desarrolló con el fin de mejorar el comportamiento físico – mecánico proporcionando caucho reciclado como modificación en una mezcla asfáltica en caliente, tiene un enfoque cuantitativo donde surge un problema de pocas tecnologías para mejorar el comportamiento físico – mecánico donde aumenten su vida útil y tenga un impacto ambiental con la reducción de las llantas en desuso. La tesis es de tipo aplicada con diseño experimental y nivel explicativo, la población es la mezcla asfáltica producida con un índice de penetración 60/70, así como la muestra son 80 especímenes modificados. El proceso es inducido por vía seca en el agregado fino para un HUSO MAC-1 con un diseño de bitumen de 6.2% para diseños de 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, los resultados obtenidos influyen significativamente en dosificaciones hasta un 1%, para la resistencia es de 1187 kg, para la deformación es de 3.06 mm, para la susceptibilidad a la humedad es de 2.26 Mpa, para la resistencia conservada es de 94.57% y para la pérdida por desgaste la influencia que presenta no es significativa por que el caucho reciclado tiende a generar mayor desgaste que a medida que se incrementa las dosificaciones. Finalmente, las dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5% de caucho reciclado influyen significativamente en el comportamiento físico – mecánico en una mezcla asfáltica en caliente hasta un 1% de adición.

Palabras claves: mezcla asfáltica, caucho reciclado, comportamiento físico, mecánico.

Abstract

This thesis was developed to enhance the physical-mechanical behavior of hot mix asphalt by incorporating recycled rubber as a modifier. It follows a quantitative approach, addressing the issue of limited technologies available to improve physical-mechanical performance, increase service life, and reduce environmental impact by repurposing discarded tires. The research is applied in nature, with an experimental design and an explanatory level of analysis. The study population consists of hot mix asphalt with a penetration grade of 60/70, while the sample includes 80 modified specimens. The process is conducted using the dry method in fine aggregates for a MAC-1 gradation, with a bitumen content of 6.2% across mix designs of 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, and 7%. The results indicate a significant influence of rubber modification up to a 1% dosage. The obtained values for strength, deformation, moisture susceptibility, and retained strength were 1187 kg, 3.06 mm, 2.26 MPa, and 94.57%, respectively. However, the impact on abrasion loss was not significant, as recycled rubber tends to increase wear as dosage levels rise. Finally, recycled rubber dosages of 0.5%, 1.0%, and 1.5% significantly influence the physical-mechanical behavior of hot mix asphalt, with optimal improvements observed up to a 1% addition.

Keywords: Hot mix asphalt, recycled rubber, physical behavior, mechanical behavior.

Índice

Acta de sustentación	
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
I. Introducción.....	15
II. Planteamiento del problema.....	17
2.1. Descripción y formulación del problema	17
2.2. Objetivos.....	19
2.2.1. Objetivo general	19
2.2.2. Objetivos específicos	20
2.3. Justificación e importancia.....	20
2.4. Hipótesis	22
2.5. Variables	23
III. Marco teórico	26
3.1. Antecedentes	26
3.2. Bases teóricas.....	31

3.2.1.	Diseño de pavimento asfáltico	31
3.2.2.	Caucho reciclado	39
3.3.	Definición de términos.....	41
IV.	Metodología.....	44
4.1.	Tipo y nivel de investigación	44
4.2.	Ámbito temporal y espacial	44
4.3.	Población y muestra	44
4.4.	Instrumentos.....	47
4.5.	Procedimientos	47
4.6.	Análisis de datos.....	48
4.7.	Consideraciones éticas.....	49
V.	Resultados y discusión.....	50
VI:	Conclusiones	89
VII.	Recomendaciones.....	91
VIII.	Referencias.....	92
IX.	Anexos	99

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables	24
Tabla 2 Especímenes para el ensayo de Resistencia (Marshall) - MTC E 504	45
Tabla 3 Especímenes para el ensayo de deformabilidad (Marshall) - MTC E 504.....	46
Tabla 4 Especímenes para el ensayo de tracción indirecta - MTC E 518	46
Tabla 5 Especímenes para el ensayo de resistencia conservada - MTC E 518	46
Tabla 6 Especímenes para el ensayo de cántabro - MTC E 515	46
Tabla 7 Ensayos según el MTC	47
Tabla 8 Características técnicas del cemento asfáltico.....	50
Tabla 9 Especificaciones de calidad para el agregado grueso.....	51
Tabla 10 Análisis granulométrico del AG	52
Tabla 11 Resultados de los ensayos previos del AG para producir mezcla asfáltica	53
Tabla 12 Especificaciones de calidad para el agregado fino	54
Tabla 13 Análisis granulométrico del AF.....	54
Tabla 14 Resultados de los ensayos previos del AF para producir mezcla asfáltica.....	56
Tabla 15 Especificaciones para combinar los AG y AF según huso MAC.....	56
Tabla 16 Gradaciones del AF y AG según huso MAC-1	57
Tabla 17 Combinación adecuada para producir mezcla asfáltica.....	58
Tabla 18 Parámetros para obtener el diseño óptimo de asfalto con proporciones de 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%.....	60
Tabla 19 Resumen de resultados del diseño Marshall.....	64
Tabla 20 Resistencia al 0.5% de CR.....	65
Tabla 21 Resistencia al 1% de CR.....	66
Tabla 22 Resistencia al 1.5% de CR.....	67
Tabla 23 Prueba de resistencia promedio al 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de CR.....	67

Tabla 24 Resumen de resultados promedio de la deformabilidad en mm	69
Tabla 25 Resultados promedio para la susceptibilidad a la humedad	71
Tabla 26 Resistencia conservada promedio.....	72
Tabla 27 Perdida por desgaste	74
Tabla 28 Valores previos para el análisis de varianza de la resistencia	76
Tabla 29 Análisis de varianza para la resistencia	77
Tabla 30 Diferencia de medias para la resistencia.....	77
Tabla 31 Valores previos para el análisis de varianza de la deformabilidad.....	78
Tabla 32 Análisis de varianza para la deformabilidad.....	79
Tabla 33 Diferencia de medias para la deformabilidad	79
Tabla 34 Valores previos para el análisis de varianza de la susceptibilidad a la humedad	80
Tabla 35 Análisis de varianza para la susceptibilidad a la humedad.....	81
Tabla 36 Diferencia de medias para la deformabilidad	81
Tabla 37 Valores previos para el análisis de varianza de la resistencia conservada	82
Tabla 38 Análisis de varianza para la resistencia conservada	83
Tabla 39 Diferencia de medias para la resistencia conservada.....	83
Tabla 40 Valores previos para el análisis de varianza del desgaste	84
Tabla 41 Análisis de varianza para el desgaste	85
Tabla 42 Diferencia de medias para el desgaste	85

Índice de figuras

Figura 1 Cabezal Marshall.....	35
Figura 2 Cabezal.....	37
Figura 3 Partes del neumático	39
Figura 4 Curva granulométrica del AG	52
Figura 5 Curva granulométrica del AF.....	55
Figura 6 Curva de gradaciones según huso MAC-1.....	58
Figura 7 Especímenes en diferentes porcentajes	59
Figura 8 Peso unitario del diseño óptimo	60
Figura 9 Flujo del diseño óptimo.....	61
Figura 10 Vacíos del diseño óptimo	61
Figura 11 Estabilidad del diseño óptimo	62
Figura 12 Vacíos en el agregado mineral para el diseño óptimo	62
Figura 13 Vacíos llenos de asfalto para el diseño óptimo	63
Figura 14 Índice de rigidez para el diseño óptimo de asfalto.....	63
Figura 15 Especímenes con 5%, 5.5%, 6%, 6.5% ,7% de CA al momento de ensayar.....	64
Figura 16 Especímenes sometidos a la máxima resistencia a un 0.5% de CR.....	65
Figura 17 Especímenes sometidos a la máxima resistencia a un 1% de CR.....	66
Figura 18 Resistencia promedio con CR.....	68
Figura 19 Deformabilidad promedio con CR al 0%, 0.5%, 1%, 1.5%.....	69
Figura 20 Rotura de especímenes mediante el cabezal Llotman.....	70
Figura 21 Resistencia a la susceptibilidad a la humedad	71
Figura 22 Resistencia conservada	73
Figura 23 Especímenes ensayados en la máquina de abrasión los Ángeles.....	74
Figura 24 Perdida por desgaste promedio	75

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	100
Anexo 2. Ficha técnica del cemento asfáltico.	101
Anexo 3. Reportes de pruebas de laboratorio.....	116
Anexo 4. Reporte de ensayo de Cántabro.	207
Anexo 5. Calibraciones de equipos.	214

I. Introducción

La constante modernización de la infraestructura vial en el Perú ha impulsado la implementación de nuevas estrategias para optimizar las propiedades físico-mecánicas de los pavimentos flexibles, especialmente en carreteras de alcance nacional y regional. No obstante, las mezclas asfálticas convencionales presentan limitaciones en su desempeño, lo que compromete su resistencia y vida útil. Por ello, es fundamental incorporar innovaciones que no solo mejoren su comportamiento estructural, sino que también contribuyan a la sostenibilidad ambiental, como es el caso del reaprovechamiento de llantas fuera de uso. En este contexto, la investigación actual busca desarrollar y examinar una mezcla asfáltica mejorada mediante la incorporación de caucho reciclado (CR), ofreciendo así una alternativa sostenible para mejorar el rendimiento de los pavimentos flexibles.

La investigación se desarrolla conforme a los parámetros fijados para la creación de mezclas asfálticas utilizando el método Marshall, incorporando alteraciones en la mezcla convencional mediante la inclusión de CR. Asimismo, se añade la realización de ensayos de sensibilidad a la humedad, resistencia conservada y desgaste, empleando la prueba de cántabro como método esencial para analizar su desempeño. Este estudio pretende ofrecer alternativas viables y sostenibles que optimicen la calidad de los pavimentos en el contexto peruano

La organización de esta tesis se divide en cinco capítulos principales:

Capítulo I: Introducción. En esta sección se establece el marco contextual de la investigación, identificando el problema de estudio y formulando los objetivos generales y específicos. Además, se exponen la justificación y la importancia del trabajo, resaltando la necesidad de innovar en el desarrollo de mezclas asfálticas en el Perú.

Capítulo II: Formulación del Problema, aquí se desarrolla detalladamente la problemática de las mezclas asfálticas tradicionales, los objetivos del estudio, la hipótesis planteada y las variables de investigación. Además, se exponen la importancia de la innovación en mezclas asfálticas modificadas con CR.

Capítulo III: Marco Teórico, este capítulo contextualiza los antecedentes de investigaciones similares, revisa las bases teóricas sobre el comportamiento físico-mecánico de las mezclas asfálticas y detalla las características del CR como material de mejora. También amplía las definiciones relacionadas con los métodos de ensayo empleados.

Capítulo IV: En este capítulo se expone en detalle la metodología utilizada en la investigación, especificando la población y las muestras analizadas. Asimismo, se describen los procedimientos experimentales aplicados para la recolección y tratamiento de los datos. Entre las pruebas realizadas se incluyen los ensayos Marshall, las evaluaciones de susceptibilidad a la humedad y el ensayo de desgaste mediante el método de Cántabro. Finalmente, el procesamiento y análisis de los resultados se efectúa a través de herramientas estadísticas, destacando el análisis de varianza como una técnica clave para la interpretación de los datos.

Capítulo V: Resultados y Análisis, este capítulo presenta los resultados obtenidos en los ensayos experimentales, incluyendo la validación de la hipótesis planteada. Además, se realiza una discusión detallada de los resultados, destacando su relevancia y posibles aplicaciones en futuras investigaciones relacionadas con la modificación de mezclas asfálticas.

Esta investigación contribuye a la mejora de mezclas asfálticas en el Perú, promoviendo el uso de caucho reciclado para pavimentos más duraderos y sostenibles.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Descripción

Según, ECOASFALT (2024) el deterioro de las vías impacta negativamente en el acceso a servicios esenciales como salud y educación, afectando también la cohesión regional. Además, incrementa el consumo de combustible hasta un 34% y reduce la vida útil de los vehículos en un 25%. Un pavimento en mal estado eleva las emisiones de gases contaminantes, generando riesgos ambientales y para la salud. En España, las deficiencias en el mantenimiento vial aumentan la inseguridad y los accidentes, representando un sobre coste de 2.000 millones de euros anuales. La Asociación Española de Carreteras (AEC) advierte que las fallas estructurales del pavimento son la principal causa del 94% de los accidentes por falta de conservación.

Figaro, (2018) expresa que Según la auditoría externa encargada por el Ministerio de Transporte de Francia la infraestructura vial se encuentra en mal estado y algunas en muy mal estado, donde se confirmó que más del 60% de las vías se encontraran muy degradadas en el año 2037. El estado invierte un promedio de 666 millones de euros para el mantenimiento de su red vial en todo el país, donde el presupuesto invertido es muy deficiente por lo cual no se llega a cubrir con todo el mantenimiento de las vías asfaltadas desde que han sido creadas para brindar confort, comodidad de la sociedad civil. Mas del 60% de las vías para que no lleguen a estar muy degradadas, el estado necesita invertir más de 1,000 millones para dar un mantenimiento para evitar recurrentes problemas en la capa de rodadura del pavimento flexible.

Cañari, (2019) menciona que la infraestructura vial en el Perú abarca más de 173,399.0 km, los cuales se dividen en tres categorías principales: la red vial nacional,

departamental y vecinal. Sin embargo, únicamente 26,597.6 km cuentan con pavimento asfáltico, lo que equivale al 15,3% del total. Las carreteras pavimentadas emplean mezclas asfálticas aplicadas en el lugar mediante procesos en frío o caliente. No obstante, el diseño actual no satisface los estándares requeridos, por lo que se ha considerado modificar el asfalto convencional. Esta modificación tiene el propósito de mejorar sus características físicas y mecánicas, desarrollando ligantes con propiedades superiores que optimizan la reología del material. Para lograrlo, es fundamental la incorporación de elementos innovadores como polímeros, fibras y caucho.

El aumento del número de vehículos ha impactado la red vial, evidenciando la carencia de innovaciones tecnológicas y esto a su vez esto ha traído el aumento de vehículos, así como sus ruedas fuera de uso por lo cual la mayoría de estos son incinerados o desechados en vertederos, generando contaminación ambiental. por lo cual es un factor de contaminación en la ciudad de Abancay. Las partículas de caucho es una nueva innovación que incrementa su vida útil de la capa del pavimento flexible.

La situación actual de nuestras vías asfaltadas en la región de Apurímac presenta graves deficiencias desde ahuellamientos permanentes, piel de cocodrilo, baches, desprendimientos todo esto generado por el alto tránsito de vehículos pesados. La vía departamental PE - 3S presenta graves deficiencias en su estructura, la modificación de la mezcla asfáltica en caliente inicialmente es una inversión muy costosa, pero si vemos a mediano plazo, así como largo plazo es muy viable porque reducirá los costos por mantenimiento y reparación de la vía en mención, según antecedentes este caucho reciclado presenta mejoras en su resistencia a la deformación sin embargo es de necesidad útil plantear esta investigación para cambiar y/o mejorar la carpeta asfáltica que aumente su vida útil.

Formulación del problema

Problema General

¿Cuál es la influencia del caucho reciclado en el comportamiento físico - mecánico en una mezcla asfáltica en caliente, Abancay – 2024?

Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento de la resistencia en una mezcla asfáltica en caliente?
- ¿Cuál es la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento de la deformabilidad en una mezcla asfáltica en caliente?
- ¿Cuál es la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento de la susceptibilidad a la humedad en una mezcla asfáltica en caliente?
- ¿Cuál es la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento de la resistencia conservada en una mezcla asfáltica en caliente?
- ¿Cuál es la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento al desgaste en una mezcla asfáltica en caliente?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

- Determinar la influencia del caucho reciclado en el comportamiento físico - mecánico en una mezcla asfáltica en caliente, Abancay – 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento de la resistencia en una mezcla asfáltica en caliente.
- Demostrar la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento de la deformabilidad en una mezcla asfáltica en caliente.
- Evaluar la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento de la susceptibilidad a la humedad en una mezcla asfáltica en caliente.
- Determinar la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento de la resistencia conservada en una mezcla asfáltica en caliente.
- Determinar la influencia del caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% en el comportamiento al desgaste en una mezcla asfáltica en caliente.

2.3. Justificación e importancia

Justificación

Justificación teórica:

La aplicación de goma reutilizada en combinaciones de las mezclas en caliente está respaldada por teorías relacionadas con la sostenibilidad y la mejora del desempeño de los materiales de construcción. La incorporación del caucho contribuye a aumentar la resistencia al envejecimiento y a la deformación permanente de las mezclas asfálticas, mejorando su durabilidad. Además, se alinea con principios de economía circular y reducción de residuos sólidos, promoviendo destrezas más verosímiles en la infraestructura vial. Esta justificación teórica se basa en investigaciones que demuestran los beneficios físicos y mecánicos del caucho en mezclas bituminosas.

Justificación práctica:

La incorporación de caucho reciclado en mezclas asfálticas facilita la utilización de residuos, como neumáticos viejos, disminuyendo su acumulación y el efecto ambiental. En la práctica, estas combinaciones muestran una mayor flexibilidad y resistencia a las fisuras, lo que extiende la durabilidad de las carreteras. Asimismo, esta práctica constituye una opción económica en el mantenimiento y edificación de vías, reduciendo los gastos relacionados con la utilización exclusiva de materiales originales y mejorando la gestión de recursos.

Justificación metodológica:

La metodología para evaluar la influencia del caucho reciclado en mezclas asfálticas en caliente implica ensayos físicos y mecánicos estandarizados, como la resistencia a la fatiga y la deformación permanente. La selección de un diseño experimental adecuado garantiza la validez de los resultados, considerando proporciones óptimas de caucho en función de las propiedades requeridas. Este enfoque metodológico permite establecer relaciones cuantitativas entre la dosificación del caucho y las mejoras en el comportamiento de la mezcla, asegurando la reproducibilidad y confiabilidad de los hallazgos.

Importancia

Este estudio es de gran importancia debido a la escasez de investigaciones sobre el impacto del caucho reciclado en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente en la provincia de Abancay. La falta de esta información limita la posibilidad de diseñar mezclas optimizadas que se ajusten a las condiciones locales de tráfico y clima, generando una brecha técnica en el desarrollo de infraestructura vial sostenible. Al abordar esta deficiencia, la investigación proporcionará datos esenciales sobre cómo la incorporación de caucho reciclado, proveniente de neumáticos fuera de uso, puede mejorar la resistencia,

durabilidad y desempeño de los pavimentos ante el tránsito vehicular. Además, desde una perspectiva económica, el uso de estas mezclas podría reducir los costos de mantenimiento vial al prolongar la vida útil de las carreteras, al tiempo que contribuye a la gestión de residuos sólidos y la reducción del impacto ambiental, alineándose con los principios de economía circular. En este sentido, la investigación impulsará la construcción de infraestructuras más resistentes y sostenibles en Abancay, beneficiando tanto a la comunidad como al desarrollo económico de la región.

2.4. Hipótesis

Hipótesis general

El caucho reciclado influye en el comportamiento físico - mecánico en una mezcla asfáltica en caliente, Abancay – 2024.

Hipótesis específicas

- El caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% influye en el comportamiento de la resistencia en una mezcla asfáltica en caliente.
- El caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% influye en el comportamiento de la deformabilidad en una mezcla asfáltica en caliente.
- El caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% influye en el comportamiento de la susceptibilidad a la humedad en una mezcla asfáltica en caliente.
- El caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% influye en el comportamiento de la resistencia conservada en una mezcla asfáltica en caliente.
- El caucho reciclado al 0.50%, 1.0%, 1.5% influye en el comportamiento al desgaste en una mezcla asfáltica en caliente.

2.5. Variables

- **Variable independiente**

X1: Caucho reciclado

- **Variable dependiente**

Y1: Comportamiento físico – mecánico.

Tabla 1.Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INDICE	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	HERRAMIENTAS
	Según							
	Burgos & Rodríguez				0.50 %		Ensayo de laboratorio para determinación de contenido de caucho reciclado en mezcla	Ficha de registro de resultados, balanza de precisión, probetas, normas ASTM
Caucho reciclado	“Es la reutilización de los neumáticos que cumplieron su vida útil, estos son reutilizables y son fuente de energía aprovechables” (p. 21).	El caucho reciclado es químicamente inerte de caucho 100% virgen, cuya elaboración cumple con lo especificado en la norma ASTM C 1116.	Aditivo de caucho reciclado	Porcentaje (%)	1.0 %	%		
					1.5 %			

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Indice	Unidad de medida	Instrumentos de recolección de datos			
							Herramientas			
Comportamiento físico - mecánico	De acuerdo a Paye (2017) “El comportamiento físico y mecánico se relaciona con las propiedades que indican cómo un material reacciona a las fuerzas aplicadas.” Este comportamiento es crucial al elegir el material apropiado para la creación de un objeto particular, ya que influyen en su desempeño ante diversas cargas y condiciones” (p. 21).	Resistencia a la deformación según la resistencia, deformabilidad así como índice de rigidez sometidas bajo carga según la prueba Marshall, tracción indirecta, % de pérdida por desgaste	Resistencia a la deformación	Deformabilidad	Resistencia a la susceptibilidad	Resistencia a la susceptibilidad	Kg	Formatos del MTC	MTC E 504	
									(Ensayo Marshall)	
								Mpa	Formatos del MTC	MTC E 518
										Inmersión y Compresión
%	Formatos del ASTM	MTC E 515								
		(Ensayo de cantabro)								

Nota. Se muestra la operacionalización de la variable dependiente donde definimos la variable, así como sus dimensiones, indicador como puntos más importantes.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

En el ámbito internacional mencionamos a:

Higuera et al (2022) en su tesis analizó el empleo de planchas de caucho reutilizado como soportes elastoméricos en vigas simplemente apoyadas de puentes se analizaron tres prototipos físicos con diferentes apoyos: sin apoyos, con neopreno y con caucho reciclado, los cuales fueron sometidos a pruebas de vibración horizontal. Los resultados indicaron que el caucho reciclado redujo los esfuerzos internos y aumentó los desplazamientos de los elementos estructurales. Además, se concluyó que este material pudo ser utilizado como apoyo en estructuras de puentes, promoviendo la sostenibilidad ambiental. Esto demuestra su potencial para aplicaciones en la ingeniería estructural.

Cardona, et al (2023) indican en su estudio que los residuos de toba volcánica generados por el procesamiento del agregado pétreo mediante corte y labrado en los yacimientos de material fueron destinados a sustituir la toba volcánica mediante el método en seco en relación con el agregado fino, asegurando la conservación de los valores de estabilidad y fluidez. Bajo la metodología Marshall se realiza 36 muestras con adiciones de 0%, 10%, 20% de material por desechos de toba volcánica. Los valores obtenidos nos muestran que el óptimo de espacios de aire aumentó al incluir más residuo de toba volcánica y el flujo descendió porque el material sumado tiene una capacidad para absorber. Lo mencionado anteriormente provocó que la capa de asfalto que envuelve las partículas se redujera en comparación con la muestra patrón; en cambio, con una adición del 20%, es del 4.83%, lo que indica que se necesita mucho más asfalto. En tal situación, la incorporación parcial con desecho de toba volcánica que logró mejores resultados fue con un 10% de

adición, lo que incrementó la estabilidad y produjo un menor flujo en comparación con el espécimen de referencia, siendo estos hallazgos más positivos

Cruz et al. (2021) afirman que la incorporación de polímeros reciclados en mezclas asfálticas contribuye significativamente a mejorar su desempeño, destacando especialmente la optimización de sus propiedades y el incremento de su vida útil. En este estudio, la adición del polímero se llevó a cabo mediante el método de vía seca, sustituyendo una fracción del agregado fino con el objetivo de evaluar su rendimiento y compararlo con el de una mezcla convencional. Para su aplicación, el polímero fue caracterizado y se calcula el contenido óptimo según los criterios establecidos en la metodología Superpave. Posteriormente, se analizaron diversos parámetros de desempeño en especímenes modificados, incluyendo resistencia a la fatiga, prueba de rueda de Hamburgo, resistencia a la tracción y módulo dinámico. Los resultados obtenidos evidenciaron que la mezcla asfáltica modificada presentó un comportamiento adecuado, consolidándose como una alternativa viable para mejorar.

Goli (2022) desarrolló una investigación con el propósito de evaluar el comportamiento de las escorias siderúrgicas y los agregados reciclados de pavimento asfáltico (RAP) al utilizarlos como sustitutos de los áridos convencionales en el diseño de mezclas asfálticas. A través de un enfoque experimental, el estudio consideró que la incorporación de escoria de acero en mezclas asfálticas en caliente mejora su durabilidad y reduce la susceptibilidad a deformaciones, como el ahuellamiento. Asimismo, los resultados evidenciaron que reemplazar los agregados tradicionales con RAP o escoria reciclada incrementa de manera significativa la estabilidad y la resistencia a la tracción, según lo demostrado en el ensayo Marshall.

León et al (2020) manifiestan que a nivel mundial el uso de aditivos es a fin de tener mezclas asfálticas de mejor calidad y que permitan disminuir el envejecimiento prematuro de las mismas. La investigación se centró en examinar de manera comparativa el impacto de los aditivos en las características físico-mecánicas de las mezclas asfálticas. Los datos recopilados provienen de 3 estudios sobre mezclas asfálticas modificadas para las pruebas de SBS, RET, SBR y polialuminio. Se determina que la incorporación de aditivos en mezclas asfálticas de uso frecuente, en relación con las propiedades de resistencia asociadas a la deformación plástica mediante las pruebas de Marshall. Al alterar con aditivos se incrementan las propiedades mecánicas para la resistencia y se reduce el porcentaje de pérdida por desgaste, lo que indica un aumento en la cohesión de la mezcla, disminuyendo el riesgo de deformaciones permanentes y fisuras, mejorando el flujo y extendiendo su vida útil en el tiempo alcanzado

Y el ámbito nacional:

Salazar y Ericson (2022), en su trabajo de investigación, realizaron un análisis comparativo entre una mezcla asfáltica tradicional y una optimizada, con el fin de examinar sus características mecánicas, en particular la estabilidad y el flujo. El estudio evidenció tres niveles de incorporación de material plástico (1%, 3% y 5%), elegidos basándose en investigaciones anteriores. La muestra consistió en 60 especímenes, lo que permitió evaluar la resistencia mecánica de las mezclas. Metodológicamente, la investigación utilizó un enfoque cuantitativo, con un nivel descriptivo correlacional y experimental. Los hallazgos mostraron que la proporción ideal de material plástico fue del 3%, junto con un contenido óptimo de betún del 5.9%, logrando una resistencia de 1315.90 kg y un flujo de 3.43 mm. Finalmente, el estudio abarcó un análisis de precios unitarios, donde se estableció que la mezcla asfáltica mejorada presentó un aumento del 3.63% en costos frente a la mezcla convencional.

Rivera (2023), en su tesis, llevó a cabo un estudio comparativo para analizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica con adición de poliéster en contraste con una mezcla convencional. La investigación se enmarcó dentro de una metodología aplicada, con un nivel relacional y un diseño experimental. Los ensayos de laboratorio arrojaron resultados que evidencian una mejora en la estabilidad de la mezcla, incrementándose en un 0.30%, al pasar de 1564 kg a 2012 kg. Asimismo, la adición del 0,10% de fibra de poliéster favorece el desempeño de la mezcla, destacándose particularmente en la reducción de la pérdida por desgaste. Estos hallazgos sugieren que el uso de fibras derivadas de residuos de poliéster en mezclas asfálticas contribuye significativamente a la optimización de sus propiedades mecánicas, abriendo la posibilidad de continuar con investigaciones en esta línea para mejorar aún más su rendimiento y durabilidad.

Condori y Lipe (2022) en su estudio examinó las propiedades físico-mecánicas de un concreto estructural $f_c=210$ kg/cm² al reemplazar el agregado fino con fibras de caucho reciclado en proporciones de 5%, 7% y 9%. Se empleó una metodología aplicada, con nivel relacional y un diseño experimental. Los hallazgos indicaron que una sustitución del 5% elevó la resistencia a la compresión en un 2,21% (247,37 kg/cm²) en comparación con el concreto patrón (242,01 kg/cm²). No obstante, porcentajes más altos disminuyeron progresivamente la resistencia, restringiendo su aplicación en construcciones. Determino que este material es factible en proporciones ideales y ayuda a disminuir el impacto ecológico.

Cárdenas et al. (2023) realizaron un análisis comparativo para examinar el desempeño físico y mecánico de una mezcla asfáltica en caliente modificada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado en contraste con una mezcla convencional. Para ello, las mezclas fueron diseñadas aplicando el método Marshall, determinándose un contenido óptimo de cemento asfáltico del 6,33% y proporciones de HDPE que variaron entre el 1% y

el 6%. Los hallazgos revelaron un incremento de 123.845 kg en la estabilidad Marshall y una mejora del 5.7% en la resistencia a la tracción retenida (TSR), aunque el parámetro de flujo no logró cumplir con las normativas establecidas. Se identificó que las mezclas con 5.5% y 6.0% de cemento asfáltico con HDPE cumplieron con ciertos requisitos de calidad, mientras que proporciones más altas no resultaron adecuadas. En conclusión, la investigación determinante que la incorporación de HDPE reciclado permitió mejorar algunas propiedades de la mezcla asfáltica, además de contribuir a la reducción del impacto ambiental.

Bernardo y Mendiguiri (2022) en su tesis, plantearon como objetivo principal la mejora de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional mediante la incorporación de polietilentereftalato (PET) reciclado. Para ello, se empleó el proceso húmedo, logrando no solo optimizar el desempeño de la mezcla asfáltica, sino también desarrollar un método para el mejoramiento de vías pavimentadas. El uso de PET reciclado no solo ofrece una opción factible para optimizar las cualidades del pavimento, sino que además ayuda a disminuir el impacto ambiental al ofrecer una solución sostenible para el uso de desechos plásticos. Mediante pruebas de laboratorio, se analizan las características mecánicas de la mezcla utilizando la metodología Marshall, incluyendo porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% de PET reciclado. El estudio se llevó a cabo utilizando los parámetros definidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, asegurando de esta manera la validez técnica de los resultados alcanzados

Candia y Ccorahua (2020) realizaron un estudio comparativo sobre las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica convencional y otra modificada con nanotubos de carbono, utilizando asfalto PEN 85/100 y agregados provenientes de la planta de asfalto de COPESCO. Mediante la aplicación de la metodología Marshall, se fabricaron especímenes con distintos contenidos de asfalto y nanotubos, estableciéndose un contenido óptimo del

6.3% y porcentajes de adición del 2%, 3% y 4%. Los ensayos, realizados conforme a los estándares del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, revelaron que la inclusión del 2% de nanotubos de carbono mejoró significativamente la estabilidad de la mezcla (1362 kg), aumentó su deformabilidad (de 3,25 mm a 4,35 mm) y redujo el porcentaje de vacíos de 4,6% a 3,9%.

Aguilar y Chauca, (2022). Manifiesta que su objetivo fue realizar un análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas de una mezcla asfáltica caliente PEN 85/100 frente a una modificada con grafito. Según la metodología Marshall es determinar el bitumen asfáltico óptimo donde se aplicó los porcentajes de 6%, 6.5%, 7%, 7.5% donde se obtuvo un óptimo de 6.5%, la adición de grafito en porcentajes fue de 5%, 10%, 15%, 20% todo esto en función al agregado fino. Los ensayos fueron de estabilidad, flujo, cántabro y tracción indirecta, se llega a una conclusión que las adiciones no presentan mejoras en balance a la mezcla asfáltica convencional, los valores alcanzados en la prueba de cántabro fueron de 4.53% y sin grafito de 4.68%, como punto final no se recomienda utilizar el grafito en bitumen PEN 85/100 como agente estabilizante.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Diseño de pavimento asfáltico

El diseño es seleccionar y dosificar los insumos para cumplir con las características deseadas para el producto final. Su función principal es de aguantar las deformaciones por el ahuellamiento, fatiga, agrietamiento y otras formas de fallas que se producen en el concreto asfáltico. Las fallas más críticas están asociadas a pavimentos con bitumen asfáltico que es producido por las altas temperaturas y la deformación permanente. Un pavimento al estar expuesto a la intemperie produce estas fallas lo que conlleva que se reduzca su vida útil y probablemente se aumente los costos de mantenimiento. Según Granados (2017) “el

cemento bituminoso su función es de unir el agregado con esta misma donde sus partículas sean de color oscuro para una mejor adherencia donde alcance incrementos en la estabilidad y puede ser más resistente ante las cargas que la deformen, así también como el cizallamiento provoque un tensionamiento” (p. 15).

El rendimiento está asociado a la calidad del agregado, al bitumen asfáltico y a sus características volumétricas donde ha existido el uso de aditivos para el concreto asfáltico en los últimos años. El pavimento ante las cargas de los ejes equivalentes de los vehículos sufren deflexiones donde su estructura está compuesta en varias capas desde la subbase, base y el revestimiento bituminoso. (Granados, 2017, p. 15)

Su alta rigidez sostiene la deformación constante que sufre el pavimento de bitumen donde la tensión producida afecta la parte interior de la capa del pavimento donde este resiste al agrietamiento por fatiga después de las cargas puntuales producidas por los vehículos. Su función principal es de obtener un asfalto que cumpla con las propiedades deseadas y no sea muy costosa donde se puede reducir la proporción del bitumen para tener un pavimento durable en el tiempo, así también es de tener los vacíos considerables donde la compactación permita acelerar cargas de tráfico sin ahuellarse y trabaje de forma óptima para que permita una óptima de la mezcla sin adherirse. (Granados, 2017, p. 16)

Características de la mezcla asfáltica

Según el Instituto del Asfalto (1992), una mezcla asfáltica es procesada en laboratorio para ser estudiada con el fin de determinar su propiedad mecánica de la mezcla asfáltica donde sus propiedades principales son: vacíos, adherencia, densidad, vacíos del agregado mineral y el apto bitumen.

Propiedades contempladas para el diseño apto bituminoso

Afirma el Instituto del Asfalto (1992), que al alcanzar un asfalto de buena calidad que se a colocado insitu sus propiedades sean mas estables, durables, impermeables, trabajables, flexibles, resistentes a la fatiga y a la resistencia al deslizamiento. Por ende cumpla con los procedimientos para diseñar una mezcla asfáltica para una capa de ruedo para un pavimento donde alcance sus mejores propiedades deseadas, en ese entonces su comportamiento fisico, mecánico son mas óptimos y mas duraderos en un tiempo util.

Pavimento flexible de concreto asfáltico

Se define como el concreto asfáltico: “Es la combinación del bitumen con los agregados gruesos y finos que cumplan con los parámetros óptimos según requerimientos en casos necesarios se utiliza aditivos para incrementar la resistencia. Esta mezcla se usa como capa de base o capa de ruedo que conforma un pavimento” (Glosario de términos MTC, 2018, p.8).

Método de diseño de mezcla asfáltica común

Según la norma MTC E 504 define que: “Para aplicar el método de diseño de mezcla primero se elaborarán especímenes con bitumen de 101.5 mm de diámetro y 63.5 mm de altura, en intervalos de 0.5% para obtener el contenido apto de bitumen mediante la prensa Marshall. En cuanto al agregado es en función a las gradaciones obtenidas para poder añadir con el bitumen y obtener una mejor adherencia donde dependerá el diseño básico para plasmarlo en campo en un pavimento flexible sometido a cargas” (p. 8).

Procedimiento para elaborar los especímenes bajos los criterios Marshall

Se describe en función a la especifica MTC E 504 para la obtención de probetas que se elaboran, así como se compactan donde el fin es de obtener el diseño preciso para aplicar en una pavimentación. Según Marshall los parámetros que nos indican son: resistencia,

deformabilidad, resistencia conservada, perdida al desgaste donde para obtener estos parámetros se siguen estos pasos:

- 1) Agregado fino y grueso: Para ensayar cualquier muestra primero es el secado de esta misma a una temperatura según lo indicado en la norma donde las gradaciones son las siguientes:

25 a 19 mm (1 a $\frac{3}{4}$ pulg)

19 a 12.5 mm ($\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulg)

12.5 a 9.5 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{8}$ pulg)

9.5 a 4.75 mm ($\frac{3}{8}$ a N°4)

4.75 a 2.36 mm (N°4 a N°8)

4.75 a 2.36 mm (N°4 a N°8)

2.36 mm (pasante la N°8)

- 2) Compactar y una temperatura óptima para la combinación del bitumen con los agregados se siguen de acuerdo a norma.
- 3) Para producir la mezcla: Se hace la combinación de proceso de mezclado y una compactación en función a la norma descrita.
- 4) Compactación de especímenes: Mediante el martillo Marshall se compacta cada espécimen mediante el pedestal Marshall donde se golpea 75 golpes por cada cara en la circunferencia del espécimen, el martillo este compuesto por una plataforma diametral de 98.4 mm de diámetro, el peso es de 10 lb y se golpea por gravedad.
- 5) Resistencia y deformación: Parámetros volátiles del ensayo Marshall que se someten a una carga constante de 50.1 mm/m que indican lo siguiente la resistencia máxima que pueda ser sometido un espécimen simulado a una carga distribuida mediante un vehículo. La deformación es otro parámetro de una mezcla asfáltica que también se obtiene mediante el ensayo Marshall.

Procedimiento para el diseño de la mezcla asfáltica con adición de caucho reciclado

reciclado

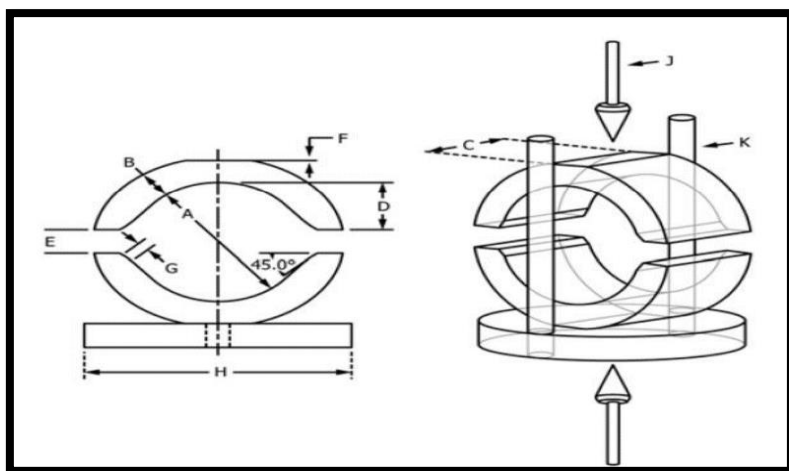
El diseño de una mezcla asfáltica con caucho reciclado sigue los criterios y el procedimiento establecidos en el ensayo Marshall, previamente mencionados. La diferencia radica en la dosificación del caucho reciclado, que se incorpora por vía seca en proporciones del 0.50%, 1.0% y 1.5% en relación con el agregado fino, (Burgos & Rodríguez, 2021, p. 20)

a) Ensayo Marshall

El ensayo Marshall mide el valor de la resistencia y la deformación mediante el cabezal Marshall. Estos parámetros se ven asociados a los parámetros volumétricos donde deben garantizar un diseño de mezcla equilibrado. Los valores de la prueba se usan como control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, colocación de las mezclas asfálticas, así como para la verificación de los parámetros de diseño y el cumplimiento de las especificaciones. (MTC E 504, 2014, p. 14)

Figura 1

Cabezal Marshall



Nota. Se muestra el cabezal Marshall que nos sirve para determinar la máxima resistencia que puede sufrir un espécimen al someterse a una carga constante adaptado de (MTC E 504, 2014, p. 15)

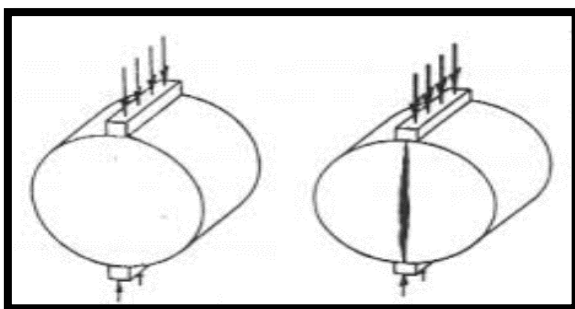
Procedimiento:

Procedimiento para acondicionar las muestras y el equipo:

- Ajustar el punto cero del flujómetro, previamente instalado en uno de los guidores, e insertar la mordaza de 4" por debajo del pivote.
- Coloque la briqueta en un baño de agua a una temperatura de 60 °C (140 °F) y manténgala sumergida durante un lapso de 30 a 40 minutos.
- Limpie tanto las guías como la superficie interna del anillo de prueba y aplique lubricante en las guías para asegurar un desplazamiento sin restricciones del segmento superior del anillo.
- Aplique la carga de prueba sobre la muestra con una velocidad de deformación constante de 50.1 mm/min (2 pulg/min) hasta que se produzca la falla.

b) Ensayo de Compresión diametral (TSR)

La prueba de compresión diametral permite evaluar la pérdida de resistencia a la tracción indirecta a través del ensayo realizado con el cabezal Lottman. Este método se aplica en mezclas homogéneas y porosas, en las que el agregado no supera un tamaño máximo de 25 mm. Su propósito es determinar si las muestras presentan susceptibilidad a la saturación provocada por aguas superficiales, comparando la resistencia a la tracción entre especímenes en estado saturado y no saturado (MTC E 518, 2014, p. 3).

Figura 2*Cabezal Llotman*

Nota: Se muestra el cabezal Llotman nos sirve para determinar la tracción indirecta, así como la resistencia conservada que puede alcanzar un espécimen al ser sometido a una carga constante adaptado de (MTC E 518, 2014, p. 3).

Procedimiento:

Acondicionar las muestras y el equipo siguiendo los siguientes pasos:

- Prepare un mínimo de 3 muestras por grupo o conjunto.
- Use el contenido de asfalto óptimo seleccionando el curado de la mezcla asfáltica.
- Agrupe las muestras en 2 subconjuntos de 3 muestras con igual vacíos.
- Sature por 24 horas solo 2 muestras.
- Colóquelas a baño María durante 24 horas a 60° C, después son enfriadas a 25 °C por 2 horas.
- Las muestras secas también se meten al baño a 25° C donde se mide que la tensión indirecta muestre relación de la deformación entre las muestras secas y húmedas donde no deben exceder el 80%.

- La carga de prueba se aplica a la muestra a una velocidad de deformación constante de 51 mm/min (2 pulg/min), hasta que se produzca la falla

$$P = ((2*P) / \pi * D * H)$$

Donde:

P = Carga máxima

D = Diámetro del espécimen en mm

H = Altura del espécimen en mm

c) Ensayo de Cántabro

El ensayo Cántabro se emplea para medir la pérdida de material por fatiga en mezclas asfálticas en caliente, utilizando el método de Los Ángeles. Su aplicación está dirigida a mezclas con gradaciones abiertas o porosas, cuyo agregado posee un tamaño máximo de 25 mm. Los especímenes se fabrican conforme a los lineamientos de la metodología Marshall, lo que permite evaluar la cohesión, el nivel de desgaste y la resistencia de la mezcla asfáltica ante la abrasión generada por los esfuerzos puntuales de los ejes equivalentes (MTC E 515, 2000, pág.3).

Procedimiento:

Acondicionar las muestras y el equipo siguiendo los siguientes pasos:

- Ajustar el punto cero del flujómetro, previamente instalado en uno de los guidores, e insertar la mordaza de 4" debajo del pivote.
- Coloque la briqueta en un baño de agua a 30 °C y manténgala sumergida el tiempo necesario hasta que el espécimen alcance una temperatura uniforme.
- Limpie las guías y la superficie interna del anillo de prueba, además de lubricarlas para garantizar un desplazamiento libre del segmento superior del anillo.

- Aplique la carga de prueba a la muestra con una velocidad de deformación constante de 50 mm/min (2 pulg/min) hasta que se produzca la falla.

$$P = ((P_1 - P_2) / P_1) * 100$$

Donde:

P = % de desgaste

P₁ = masa inicial en kg

P₂ = masa después del ensayo en kg

3.2.2. Caucho reciclado

a) El neumático

El neumático proviene del proceso de la vulcanización lo cual es lo que le da la resistencia al caucho para una adecuada fabricación. El caucho al ser combinado con azufre y al ser calentado se endurece donde toma una calidad de cuero para que no se disuelva con petróleo y alunas soluciones este proceso es conocido como la vulcanización. (Burgos & Rodríguez, 2021, p. 25)

Figura 3

Partes del neumático



Nota. Se muestra las partes del neumático donde mediante la trituración mecánica se modifica a través del método en seco en la composición. asfáltica en caliente adaptado de (Burgos y Rodríguez, 2021, p. 25)

b) Características de los neumáticos

El caucho natural y los sintéticos provienen principalmente de los neumáticos y se clasifican en distintos tipos. Entre ellos, el SBS (estireno-butadieno-estireno) es un elastómero termoplástico artificial logrado a través de la polimerización de estireno y butadieno. Por otro lado, el SBR (caucho estireno-butadieno) es un elastómero sintético derivado de la copolimerización de monómeros como estireno, butadieno y carbono negro, (Burgos y Rodríguez, 2021, p. 26).

El caucho natural proviene del látex, una resina de color blanco lechoso que se extrae del árbol Hevea , denominado árbol del caucho. Esta especie se ha adaptado a diversos ecosistemas, especialmente en regiones de Brasil, Colombia y Tailandia. Comprende entre un 25% a 40% de caucho donde sus propiedades mas volubles son la maleabilidad, resistencia mecanica, adherencia en cualquier superficie en contacto. Esto a nivel mundial trae un consumo que supera el 70% por ende es un elemento indispensable para la industria del neumático. (Burgos y Rodríguez, 2021, p. 27)

c) Los neumáticos en fuera de uso para utilizarlos como alternativa

El exceso consumo de neumáticos ha traído consigo la dificultad de desaparecer estos mismo donde ah llevado a un problema mundial de contaminación ambiental. El neumático requiere masivas cantidades de energía olea donde un barril crudo de petróleo se utiliza solo para obtener un neumático de camión. Actualmente no existe políticas de reutilización para estos neumáticos que reciclen e implementen nuevas metodologías como alternativa de solución en un pavimento flexible. (Burgos y Rodríguez, 2021, p. 28)

d) Modificación del diseño de pavimento con la trituración mecánica del caucho

El caucho se ha convertido en una técnica innovadora para sustituir los agregados en la capa de rodadura o sellado del asfalto. Su aplicación varía según el sistema empleado, permitiendo reutilizar entre 1.000 y 7.000 neumáticos por kilómetro en carreteras de dos carriles. Al incorporarse en la modificación del pavimento asfáltico, ofrece mejoras significativas en el desempeño y reutilización de neumáticos desechados, (Burgos & Rodríguez, 2021, p. 28)

3.3. Definición de términos

- **Asfalto**

El, Glosario de términos MTC (2018) lo define como: “Un material aglutinante de color negro que su origen proviene de la refinación del petróleo” (p. 4), donde está presente en dosificaciones variables que en su esplendor son crudos.

- **Mezcla asfáltica en caliente**

Según Rosales (2022): “La mezcla asfáltica en caliente es una combinación de agregados, bitumen asfáltico y algunas veces aditivos donde se aplican a temperaturas bajas, altas según los criterios técnicos. Su aplicación es en una superficie de rodamiento como parte de la estructura del pavimento flexible” (p. 18).

- **Resistencia a la deformación permanente**

Según Garnica (2005): “Es la habilidad de una mezcla asfáltica compactada para resistir las cargas inducidas por el tránsito vehicular sin sufrir deformaciones irreversibles” (p. 56).

Grava

Según Martínez (2009) es: “La trituración del canto rodado que es de material pétreo donde sus partículas están comprendidas entre 2 y 64 mm” (p. 25).

- **Comportamiento mecánico**

Según Paye (2017) lo define como: “Hace referencia a las propiedades que determinan la manera en que un material reacciona ante las fuerzas aplicadas sobre él, las cuales corresponden a cargas distribuidas en distintas condiciones” (p. 21).

- **Caucho reciclado**

Según, Burgos y Rodríguez (2021) lo describe como: “Es el aprovechamiento de los neumáticos que han alcanzado el final de su vida útil, permitiendo su reutilización y utilización como una fuente de energía viable” (p. 32).

- **Partículas de caucho**

Según, Burgos y Rodríguez (2021) lo describe como: “Las partículas de caucho provenientes de los neumáticos pueden emplearse en la capa de rodadura o sellado del asfalto (asfalto con caucho) o como componente agregado en la mezcla (concreto asfáltico modificado con caucho) (pág. 28).

- **Pavimento flexible**

Según UNIFORT (2024) lo define como: “Una capa asfáltica a base de una mezcla bituminosa en caliente, aplicada sobre una capa de base y una capa de subbase” (p. 5).

- **Índice de rigidez**

Según Burgos y Rodríguez, (2021) lo define como: “La estabilidad sobre el flujo que debe estar comprendido según parámetros Marshall de la mezcla asfáltica en caliente” (p. 87).

- **Susceptibilidad**

Según Plaza y Rincón (2014) se define como: “La tendencia a un desplazamiento o ahuellamiento al ser generado en el futuro en un área en específica” (p.55).

- **Resistencia conservada**

Según Plaza y Rincón (2014) se define como: “Es el esfuerzo de tracción máximo que soporta un material antes que ocurra una deformación constante” (p. 56).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

- Tipo de investigación aplicada

De acuerdo con Carrasco (2006), “Se fundamenta en tener objetivos prácticos claramente definidos e inmediatos, es decir, se investiga con el fin de actuar, modificar, transformar o generar en un sector específico de la realidad” (p. 43)

- Nivel de la investigación explicativa

Según Carrasco (2006) “Es donde se manipula la variable independiente de forma intencional para entender el efecto que se produce en la variable dependiente bajo el dominio del investigador” (p. 272).

4.2. Ámbito temporal y espacial

- Temporal

La tesis se realizó en un lapso de tiempo de un año desde la aprobación del proyecto de tesis.

- Espacial

La tesis se efectuó con los agregados de la zona es precisamente en la ciudad de Abancay.

4.3. Población y muestra

- Población

Según Carrasco (2006) “Son todos los elementos que corresponden a un ámbito social donde se basa la tesis propuesta” (p. 237).

Para la población se aplican criterios de inserción y descarte de una mezcla asfáltica en caliente:

- a) Criterio de inserción: Toda mezcla asfáltica producida con un índice de penetración de 60/70.
- b) Criterio de descarte: Toda mezcla asfáltica que no es producida con un índice de penetración de 60/70.

- **Muestra**

Según Carrasco (2006) “Es un fragmento importante de la población donde sus características principales es de ser precisas y reflejar a ella de una manera que los resultados alcanzados de la muestra cumplan que los elementos pertenezcan a la población” (p. 237).

La muestra es no probabilística o también conocida como método por conveniencia donde se alcanzó a un total de 80 especímenes, se muestran a continuación:

Tabla 2

Especímenes para el ensayo de Resistencia (Marshall) - MTC E 504

Mezcla modificada	% de CR				Nº Especímenes
	0%	0.50%	1.0%	1.5%	
Resistencia	4	4	4	4	16

Nota. Se muestra los especímenes para el ensayo de resistencia que en total son 16 especímenes con adiciones de caucho reciclado (CR).

Tabla 3*Especímenes para el ensayo de deformabilidad (Marshall) - MTC E 504*

Mezcla modificada	% de CR				Nº Especímenes
Deformabilidad	0%	0.50%	1.0%	1.5%	16
	4	4	4	4	

Nota. Se muestra los especímenes para el ensayo de deformabilidad que en total son 16 especímenes con adiciones de CR.

Tabla 4*Especímenes para el ensayo de tracción indirecta - MTC E 518*

Mezcla modificada	% de CR				Nº Especímenes
Tracción indirecta	0%	0.50%	1.0%	1.5%	16
	4	4	4	4	

Nota. Se muestra los especímenes para el ensayo de tracción indirecta que en total son 16 especímenes con adiciones de CR.

Tabla 5*Especímenes para el ensayo de resistencia conservada - MTC E 518*

Mezcla modificada	% de CR				Nº Especímenes
Resistencia conservada	0%	0.50%	1.0%	1.5%	16
	4	4	4	4	

Nota. Se muestra los especímenes para el ensayo de resistencia conservada que en total son 16 especímenes con adiciones de CR.

Tabla 6*Especímenes para el ensayo de cántabro - MTC E 515*

Mezcla modificada	% de CR				Nº Especímenes
% de perdida por desgaste	0%	0.50%	1.0%	1.5%	16
	4	4	4	4	

Nota. Se muestra los especímenes para el ensayo de pérdida por desgaste que en total son 16 especímenes con adiciones de CR.

4.4. Instrumentos

Según Carrasco (2006) “Es un medio técnico que permite recoger datos e información deseada, para responder una interrogante donde debe poseer algunos parámetros que cumplan con la eficacia y efectividad al aplicarlos a una muestra que pertenece a la población” (p. 335).

Las especificaciones técnicas generales para la construcción contemplan formatos estándares para recoger datos o información deseada.

Tabla 7

Ensayos según el MTC

Ensayos	Norma
Ensayo Marshall	MTC E 504
Ensayo de compresión diametral	MTC E 518
Ensayo de cántabro	MTC E 515

Nota. Se muestra los ensayos realizados para llegar a los resultados deseados para poder responder las interrogantes planteadas en esta tesis.

4.5. Procedimientos

Procedimiento técnico

Las constantes normas utilizadas para analizar, recolectar así como procesar resultados de forma automática es vital para entender los resultados obtenidos donde primero se realizó los ensayos previos para un diseño óptimo de contenido de asfalto y poder determinar si la calidad de los agregados es óptima para los requisitos mínimos

contemplados en el manual de especificaciones técnicas generales para la construcción, luego en proporciones de 0.5% se determina el bitumen asfáltico para poder elaborar nuevos especímenes. Finalmente se elaboró 80 especímenes que fueron sometidos a diferentes pruebas para responder las interrogantes planteadas en esta tesis.

Procedimiento estadístico

Para ver realmente si existe variación entre una adición u otra planteada en esta tesis utilizamos el método estadístico del análisis de varianza más conocido en el mundo estadístico como Anova donde para más de dos muestras independientes a un 95% de confiabilidad determinamos si existe variación y planteamos Tukey para un mejor entendimiento de comparación por las distintas adiciones planteadas que a una mayor existe o no exista variación.

4.6. Análisis de datos

Anova. Para entender el análisis de datos alcanzados en esta tesis aplicamos el análisis de varianza que nos determina un valor de F para una confiabilidad al 95% con un error ya conocido del 5%. Las muestras independientes añadidas a una mezcla asfáltica convencional existen variaciones con respecto a esta misma mezcla asfáltica sin modificación.

Tukey. Para ver precisamente una variación en las proporciones del 0.5%, 1.0%, 1.5% con respecto al 0% común, se determina el p calculado para una confiabilidad al 95% con un error ya conocido del 5% donde se realizó el análisis de datos para las muestras independientes y se entendió de mejor manera la variación de las muestras.

4.7. Consideraciones éticas

La tesis se realizó cumpliendo el respeto, las normas, valores que cumplen con la ética para respetar los principios deontológicos, donde se basa en la normativa de la propiedad intelectual de otros autores en distintas investigaciones.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Determinación del comportamiento de la resistencia en una mezcla asfáltica en caliente con CR

a) Bitumen asfáltico

El bitumen asfáltico tiene un índice de penetración de 60/70 proviene de la refinería la PAMPILLA para una altitud menor a 3000 m.s.n.m, donde sus características se muestran a continuación:

Tabla 8

Características técnicas del cemento asfáltico

Pruebas	Método	und	Especificación		
			Mín.	Máx.	Resultado
Penetración	D-5 / E304	dmm	60	70	64
Ductilidad a 25 °C	D-113/ E306	cm	100	-	>110
Punto de inflamación	D-92/E312	°C	232	-	281
Solubilidad		%	99	-	99.56
Punto de ablandamiento	D-36	-	-	-	52.4
Viscosidad cinemática a 100 °C	D-445	cSt	-	-	4935
Viscosidad cinemática a 135 °C	D-2170	cSt	200	-	547
Perdida por calentamiento	D-1754	%	-	0.8	0.34
Ensayo de la mancha	AAHSTO T102	-	-	-	25%

Nota. Se presenta las características técnicas del cemento asfáltico para producir mezcla asfáltica para una altura menor a 3000 m.s.n.m.

b) Los agregados

Los agregados para fabricar una mezcla asfáltica en caliente tienen que cumplir con lo indicado en las especificaciones técnicas generales para la construcción, según sus tablas 423.01 y 423.02

b.1) Para el agregado grueso

Tabla 9

Especificaciones de calidad para el agregado grueso

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM - AAHSTO	≤ 3000 (m.s.n.m)
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C 88	18% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	ASTM C 131	40% máx.
Adherencia	MTC E 517	ASTM D 1664	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	-	35% min.
Partículas chatas y alargadas	-	ASTM 4791	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	ASTM D 5821	85/50
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	ASTM C 118	1.0% máx.

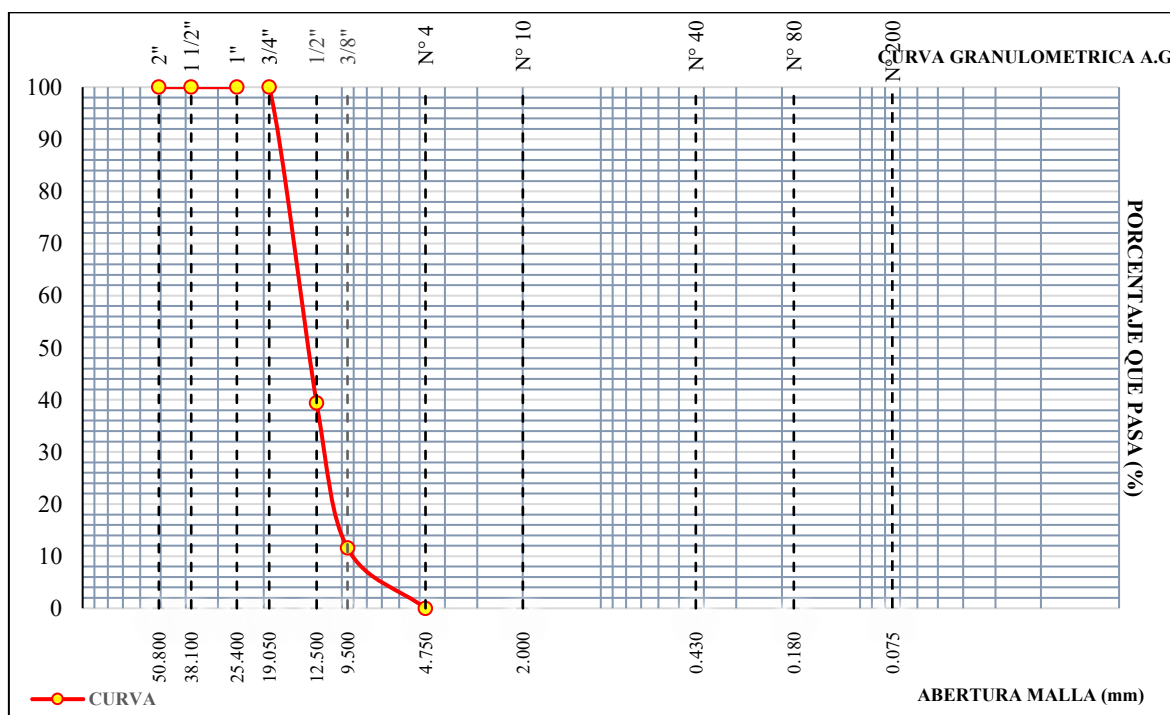
Nota. Se presenta las especificaciones que debe cumplir el agregado grueso (AG) para poder producir la mezcla asfáltica.

El agregado proviene de la planta de asfalto y concreto de la vía de evitamiento donde se analizó este mismo para ver si cumple con las especificaciones estipuladas anteriormente.

Tabla 10*Análisis granulométrico del AG*

criba		peso ret.	%ret. parc.	%ret. acum.	% pasa
NTP	mm				
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.0
1/2"	12.70	1212.3	60.6	60.7	39.4
3/8"	9.50	556.2	27.8	89.0	11.6
# 4	4.75	231.5	11.6	100.0	
# 10	2.00				
# 40	0.43				
Cazuela	0.00	0.00	0.00	100.0	0.0
TOTAL		2000	100.00		

Nota. Se presenta la cribación del AG proveniente de la cantera de la vía de evitamiento donde se analizó según normas especificadas.

Figura 4*Curva granulométrica del AG*

Nota. Se representa la curva granulométrica del AG donde retiene en las mallas ½”, 3/8”, N°4.

Tabla 11

Resultados de los ensayos previos del AG para producir mezcla asfáltica

Prueba	Norma	Requerimiento	Resultado	Rango de aceptación
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	6.49	OK
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	21	OK
Adherencia	MTC E 517	+95	+98	OK
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	--	--
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	10% máx.	8.1	OK
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	61.0/79.1	OK
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.013	--
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	0.48	OK

Nota. Se muestran los resultados de los ensayos previos del AG para producir mezcla asfáltica donde indica los requerimientos y sus datos cumplen con lo especificado.

b.2) Para el agregado fino

Tabla 12

Especificaciones de calidad para el agregado fino

Pruebas	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM - AAHSTO	≤3000 (m.s.n.m)
Equivalente de arena	MTC E 114	ASTM 2419	60% min.
Angularidad del AF	MTC E 222	-	30% min.
Índice de plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C 88	-
Índice de durabilidad	MTC E 214	-	35% min.
Índice de plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	ASTM D 4318	4% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción **	MTC E 205	AAHSTO T - 84	1.0% máx.

Nota. Se presenta las especificaciones que debe cumplir el agregado fino (AF) para poder producir la mezcla asfáltica.

Tabla 13

Análisis granulométrico del AF

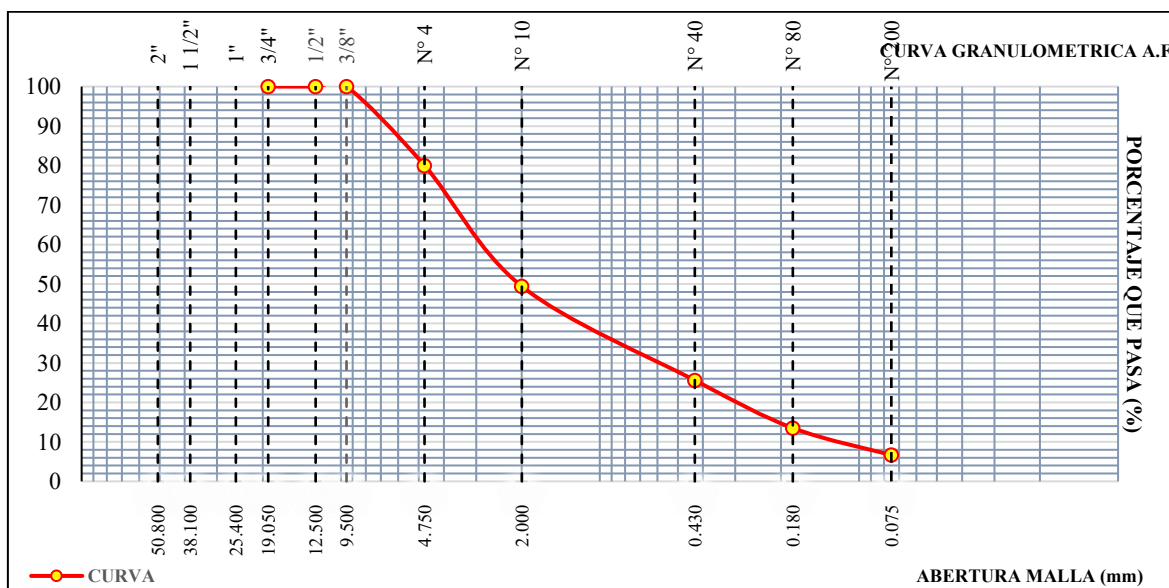
criba		peso ret.	%ret. parc.	%ret. acum.	% pasa
NTP	mm				
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.0
# 4	4.75	334.00	20.0	20.2	80.0
# 10	2.00	512.00	30.60	50.6	49.4
# 40	0.43	398.00	23.80	74.4	25.6
# 80	0.18	202.00	12.10	86.5	13.5

# 200	0.075	114.00	6.8	93.3	6.7
Cazuela	0.00	112.00	6.7	100.0	
Total		1672.00	100.00		

Nota. Se presenta la cribación del AF proveniente de la cantera de la vía de evitamiento donde se analizó según normas especificadas.

Figura 5

Curva granulométrica del AF



Nota. Se representa la curva granulométrica del AF donde retiene en las mallas N°4, N°10, N°40, N°80, N° 200 y cazuela.

Tabla 14

Resultados de los ensayos previos del AF para producir mezcla asfáltica

Prueba	Norma	Reque.	Resul.	Rango
Equivalente de arena	MTC E 114	60% min.	64.47	OK
Angularidad del AF	MTC E 222	30% min.	53.9	OK
Índice de plasticidad (malla N°. 40)	MTC E 111	N.P.	N.P.	OK
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	1.1	OK
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% min.	--	--
Índice de plasticidad (malla N°. 200)	MTC E 111	4% máx.	N.P.	OK
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.09	OK
Absorción **	MTC E 205	1.0% máx.	0.47	OK

Nota. Se muestran los resultados de los ensayos previos del AF para producir mezcla asfáltica donde indica los requerimientos y sus datos cumplen con lo especificado.

b.3) Para producir mezcla asfáltica en caliente

Según la tabla 423-03 del EG – 2013 especifica las gradaciones para producir mezcla asfáltica donde nos indica los siguientes MAC:

Tabla 15

Especificaciones para combinar los AG y AF según huso MAC

Criba	% que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
1"	100		
3/4"	80-100	100	
1/2"	67-85	80-100	

3/8"	60-77	70-88	100
N°4	43-54	51-68	65-87
N°10	29-45	38-52	43-61
N°40	14-25	17-28	16-29
N°80	8-17	8-17	9-19
N°200	4-8	4-8	5-10

Nota. Se presenta las gradaciones para la combinación de los agregados AF y AG según huso MAC-1, MAC-2 y MAC-3.

Tabla 16

Gradaciones del AF y AG según huso MAC-1

Agregados	%
AG < 3/4" – 1/2"	32.00%
AF < 3/8"	68.00%
Total	100.00%

Nota. Según las gradaciones de los análisis del AF y AG se obtuvieron porcentajes según huso MAC-1 para un AF de 32% y para un AG es de 68% que sumados alcanzan un 100%.

Tabla 17

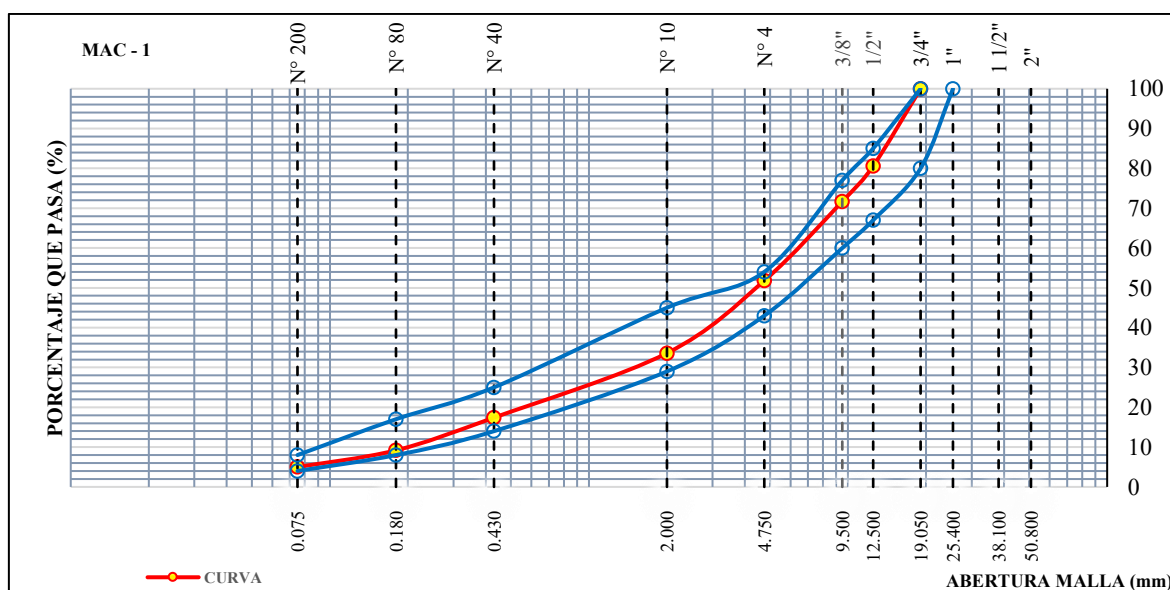
Combinación adecuada para producir mezcla asfáltica

Criba		AG	AF	MAC - 1			
		Vía de evitamiento		Comb. Optima	Huso MAC - 1		
		< 3/4"	< 3/8"				
		32.00%	68.00%				
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100	100	OK
3/4"	19.05	100.00	100.00	100.00	80	100	OK
1/2"	12.50	39.4	100.00	80.6	67	85	OK
3/8"	9.50	11.6	100.00	71.7	60	77	OK
# 4	4.75	0.00	80.0	51.8	43	54	OK
# 10	2.00	0.00	49.4	33.6	29	45	OK
# 40	0.43	0.00	25.6	17.4	14	25	OK
# 80	0.18	0.00	13.5	9.2	8	17	OK
# 200	0.075	0.00	6.7	5.0	4	8	OK

Nota. Según las gradaciones de los análisis del AF y AG se obtuvieron porcentajes para el huso MAC-1 donde se realizó la combinación en un solo agregado.

Figura 6

Curva de gradaciones según huso MAC-1



Nota. Se representa la curva granulométrica del AF y AG que está dentro de los límites superior e inferior que cumple con la gradación del huso MAC-1.

c) Caucho reciclado

El caucho reciclado es proveniente de la trituración mecánica de los neumáticos que se ha obtenido del molino en Illanya que trituran los neumáticos en desuso de los vehículos de Abancay.

d) El diseño óptimo de contenido de bitumen asfáltico

Según Marshall establece que para determinar un contenido óptimo de bitumen es necesario producir especímenes con diferentes porcentajes de contenido de asfalto en variaciones de 0.5%, en la tesis se produjo 15 especímenes con diferente contenido de asfalto que varío desde el 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7.0% donde se obtuvo un contenido óptimo de 6.2%.

Figura 7

Especímenes en diferentes porcentajes



Nota. Se aprecia en la figura la elaboración de los especímenes en el pedestal Marshall y su respectivo rotulado para después practicar en el ensayo Marshall.

Tabla 18

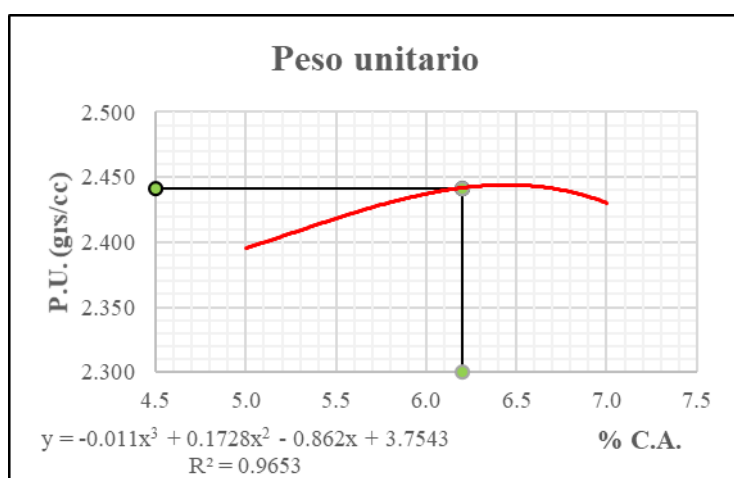
Parámetros para obtener el diseño óptimo de asfalto con proporciones de 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%

Descripción	Und.	Resultados				
		5	5.5	6	6.5	7
IP 60/70	%	5	5.5	6	6.5	7
PU	gr/c.c.	2.39	2.42	2.43	2.45	2.43
Vacíos	%	1.87	3.20	3.50	3.270	2.90
VMA	%	17.71	17.30	17.30	17.30	18.30
VFA	%	89.5	81.9	80.1	81.1	84.9
F	mm	3.22	2.90	2.90	2.80	3.60
E	kg	1371.39	1282.40	1049.6	1096.1	984.2
IR	kg/cm	4241.33	4437	3636	4040	2768

Nota. Se presenta los resultados de los porcentajes de 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7% para determinar el contenido óptimo de asfalto.

Figura 8

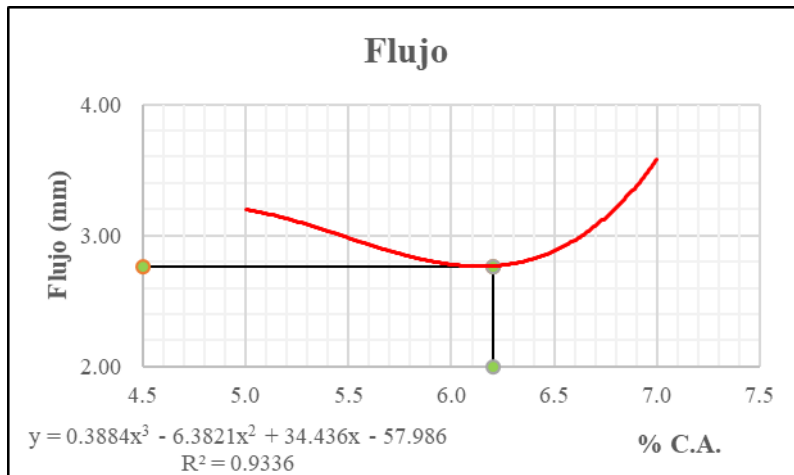
Peso unitario del diseño óptimo



Nota. Se presenta el peso unitario que se determina trazando una tangente de las proporciones de asfalto añadidas versus los datos obtenidos, es una curva de tercer grado polinómica.

Figura 9

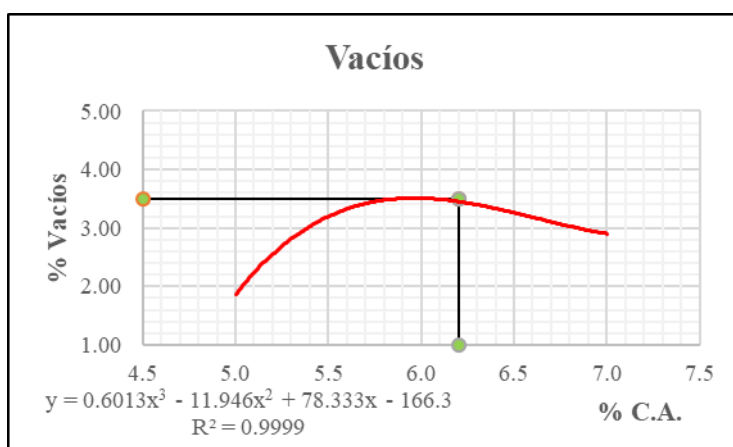
Flujo del diseño óptimo



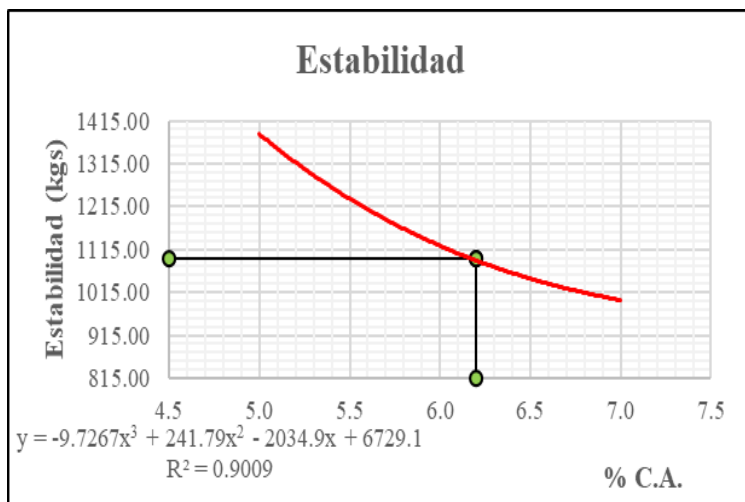
Nota. Se presenta el flujo que se determina trazando una tangente de las proporciones de asfalto añadidas versus los datos obtenidos, es una curva de tercer grado polinómica.

Figura 10

Vacíos del diseño óptimo



Nota. Se presenta los vacíos que se determina trazando una tangente de las proporciones de asfalto añadidas versus los datos obtenidos, es una curva de tercer grado polinómica.

Figura 11*Estabilidad del diseño óptimo*

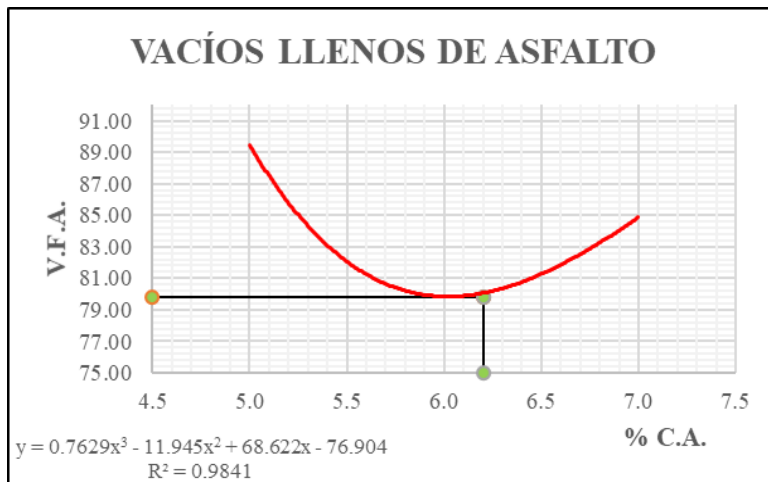
Nota. Se presenta la estabilidad que se determina trazando una tangente de las proporciones de asfalto añadidas versus los datos obtenidos, es una curva de tercer grado polinómica.

Figura 12*Vacíos en el agregado mineral para el diseño óptimo*

Nota. Se presenta los vacíos en el agregado mineral que se determina trazando una tangente de las proporciones de asfalto añadidas versus los datos obtenidos, es una curva de tercer grado polinómica.

Figura 13

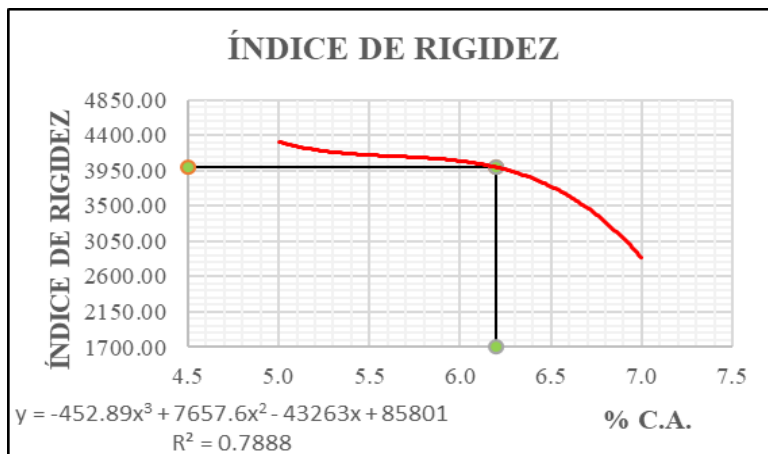
Vacíos llenos de asfalto para el diseño óptimo



Nota. Se presenta los vacíos llenos de asfalto que se determina trazando una tangente de las proporciones de asfalto añadidas versus los datos obtenidos, es una curva de tercer grado polinómica.

Figura 14

Índice de rigidez para el diseño óptimo de asfalto



Nota. Se presenta el índice de rigidez que se determina trazando una tangente de las proporciones de asfalto añadidas versus los datos obtenidos, es una curva de tercer grado polinómica.

Figura 15

Especímenes con 5%, 5.5%, 6%, 6.5% ,7% de CA al momento de ensayar



Nota. Se aprecia los especímenes elaborados con diferentes dosificaciones de CA en un 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7% al momento de ensayar para poder determinar el contenido apto de asfalto.

Tabla 19

Resumen de resultados del diseño Marshall

Resumen de resultados				
Descripción	Und.	Optimo % C. A	Parámetros	Cumple
Golpes por lado	und	75	75	ok
CA	%	6.2	Optimo	ok
PU	gr/cm ³	2.44	-	ok
Vacíos	%	3.50	3% - 5%	ok
V.M. A	%	17.18	Mín 14	ok
V.F. A	%	80.50	-	ok
F	mm	2.86	2 - 4	ok
E	kg	1095	Mín 815	ok
IR	kg/cm	3990	1700 – 4000	ok

Nota. Se presenta el resumen de resultados para el diseño óptimo de contenido de asfalto para diseñar una mezcla asfáltica donde se obtuvo un 6.2% de bitumen asfáltico.

Diseño con contenido de CR en proporciones de 0.5%, 1% y 1.5%

Para añadir el caucho reciclado por el proceso de vía seca es por la malla #10 que al ser caracterizado ambos sus partículas son similares por ende en contenido de 0.5%, 1% y 1.5% se añadió a la mezcla asfáltica en caliente común.

a) Resistencia al 0.5% de CR

Tabla 20

Resistencia al 0.5% de CR

Resistencia al 0.5% de CR								
Descripción	% CR	M-1	M-2	M-3	M-4	Promedio	Und	OK
% CA		6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	%	ok
Compactación		75	75	75	75	75	und	ok
Resistencia	0.5%	1110	1030	851.0	1015	1001.5	kg	ok

Nota. Se presenta los resultados de resistencia de 4 especímenes elaborados y sometidos a prueba donde se tiene una resistencia promedio de 1001.5 kg.

Figura 16

Especímenes sometidos a la máxima resistencia a un 0.5% de CR



Nota. Se presenta los especímenes al momento de ser sometidos a la prueba con el cabezal Marshall para obtener la máxima resistencia.

b) Resistencia al 1.0% de CR

Tabla 21

Resistencia al 1% de CR

Resistencia al 1% de CR								
Descripción	% CR	M-1	M-2	M-3	M-4	Promedio	Und	OK
% CA		6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	%	ok
Compactación		75	75	75	75	75	und	ok
Resistencia	1%	1209	1114	1225	1201	1187	kg	ok

Nota. Se presenta los resultados de resistencia de 4 especímenes elaborados y sometidos a prueba donde se tiene una resistencia promedio de 1187 kg.

Figura 17

Especímenes sometidos a la máxima resistencia a un 1% de CR



Nota. Se presenta los especímenes al momento de ser sometidos a la prueba con el cabezal Marshall para obtener la máxima resistencia.

c) **Resistencia al 1.5% de CR**

Tabla 22

Resistencia al 1.5% de CR

Resistencia al 1.5% de CR								
Descripción	% CR	M-1	M-2	M-3	M-4	Promedio	Und	OK
% CA		6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	%	ok
Compactación	1.5%	75	75	75	75	75	und	ok
Resistencia		854	801	869	917	860.3	kg	ok

Nota. Se presenta los resultados de resistencia de 4 especímenes elaborados y sometidos a prueba donde se tiene una resistencia promedio de 860.3 kg.

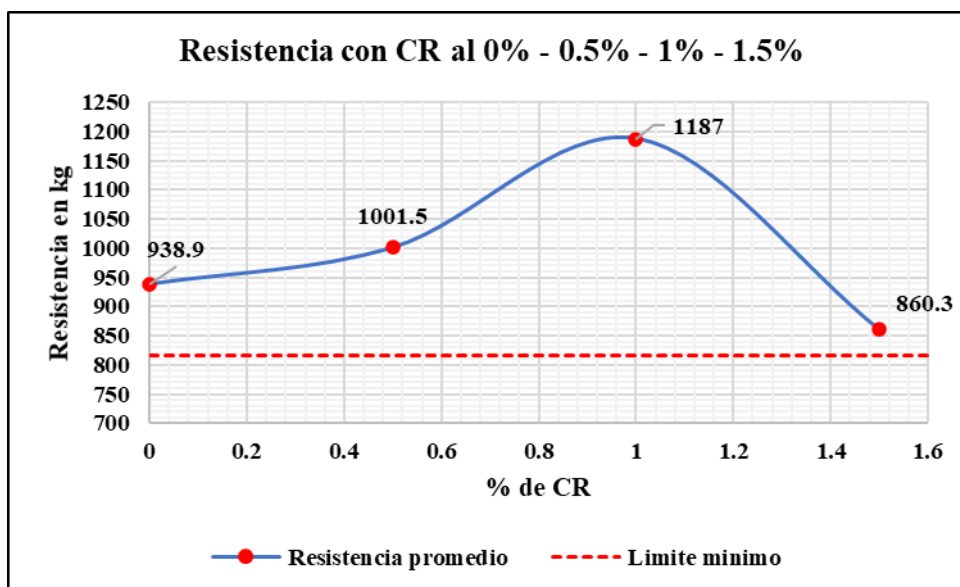
Resumen de resultados

Tabla 23

Prueba de resistencia promedio al 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de CR

Prueba de resistencia con CR al 0% - 0.5% - 1% - 1.5%					
CA – 6.2%					
Pruebas	0%	0.5%	1%	1.5%	Condición
Resistencia	938.9	1001.5	1187	860.3	815 kg mín.

Nota. Se presenta los resultados promedios de resistencia donde se presenta incrementos, pero a una adición del 1.5% de CR no es recomendable porque empieza a descender su resistencia en función a la muestra patrón.

Figura 18*Resistencia promedio con CR*

Nota. Se muestran los resultados promedios de resistencia donde se muestra incrementos, pero a una adición del 1.5% de CR disminuye frente a la muestra patrón, no obstante está cumpliendo con lo que especifica la norma donde pide un mínimo de 815 kg y se tiene 860.3 kg, pero no es recomendable.

5.1.2. Comportamiento de la deformabilidad en una mezcla asfáltica en caliente con CR

La deformabilidad o también conocido como flujo es una de los parámetros del ensayo Marshall, los resultados vertidos en esta tesis son con las adiciones de 0.5%, 1%, 1.5% de dosificaciones de CR.

Tabla 24

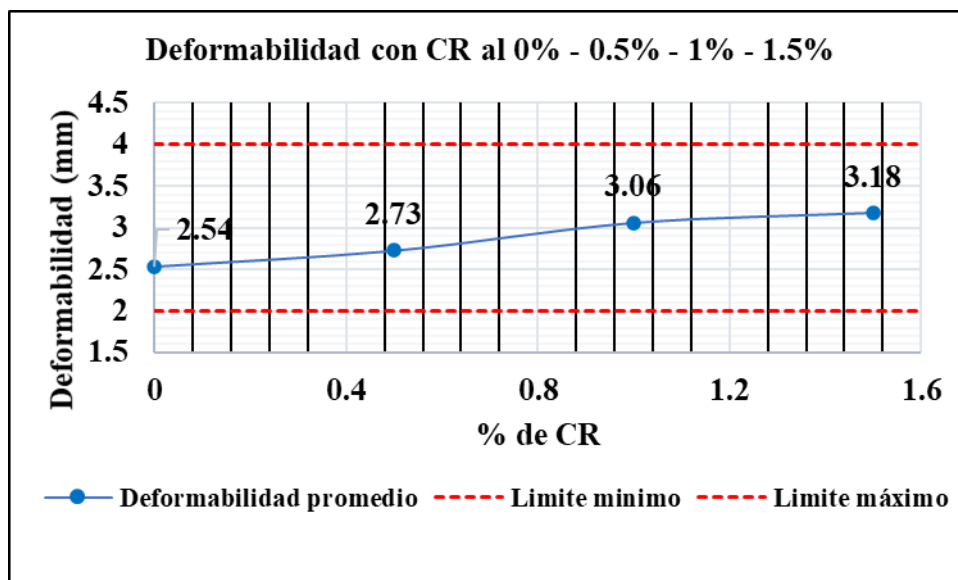
Resumen de resultados promedio de la deformabilidad en mm

Mezcla	T°	T'	Deformabilidad		
	Digestión (°C)	Digestión (hr)	mm	cm	Incremento
Mac + 0%	60	1/2	2.54	0.254	0.0%
Mac + 0.5% CR	60	1/2	2.73	0.273	7.4%
Mac + 1% CR	60	1/2	3.06	0.306	20.47%
Mac + 1.5% CR	60	1/2	3.18	0.318	25.20%

Nota. Se muestra el resumen de resultados de la deformabilidad donde los valores comprendidos no superan lo normado que está comprendido entre 2 y 4 mm de deformación al simular una carga a un espécimen.

Figura 19

Deformabilidad promedio con CR al 0%, 0.5%, 1%, 1.5%



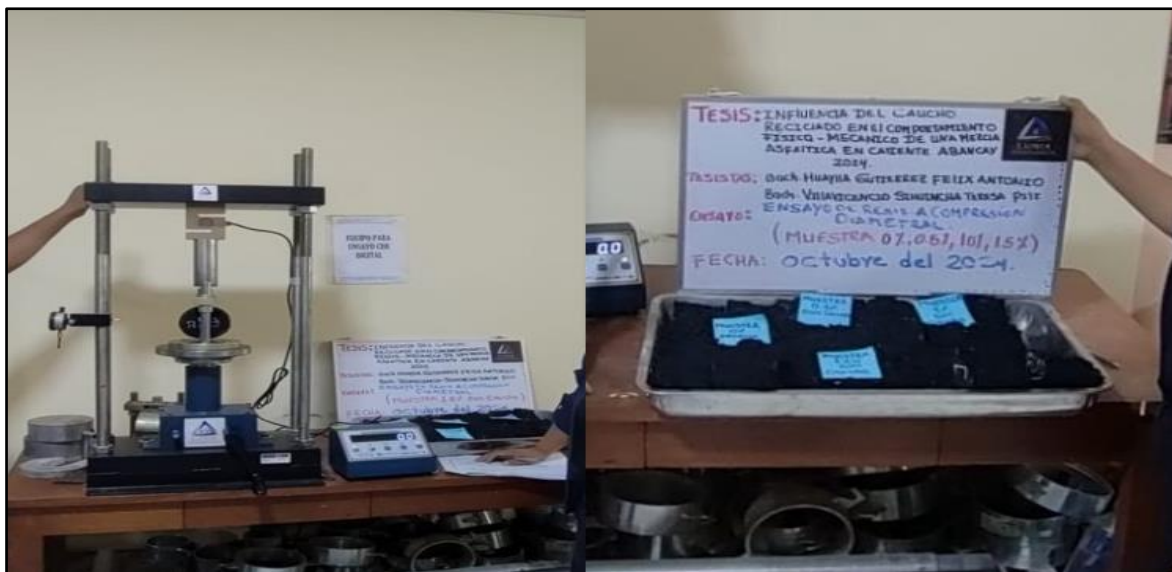
Nota. Se muestra los resultados promedios con distintas dosificaciones de CR donde a un 1.5% de adición muestra un 3.18 mm por ende este valor está comprendido según las indicaciones de norma que deben estar entre 2 y 4 mm.

5.1.3. Comportamiento de la susceptibilidad a la humedad en una mezcla asfáltica en caliente con CR

La susceptibilidad a la humedad en un espécimen es producida por la capa freática por las condiciones de saturación por aguas superficiales que pueden presentarse en el pavimento flexible por ende este parámetro es de vital importancia para practicar siguiendo los procedimientos de la norma MTC E 518.

Figura 20

Rotura de especímenes mediante el cabezal Llotman



Nota. Se muestra los especímenes elaborados con dosificaciones de CR al momento de ser ensayados mediante el cabezal Llotman con una aplicación de carga de 50 mm/min.

Tabla 25

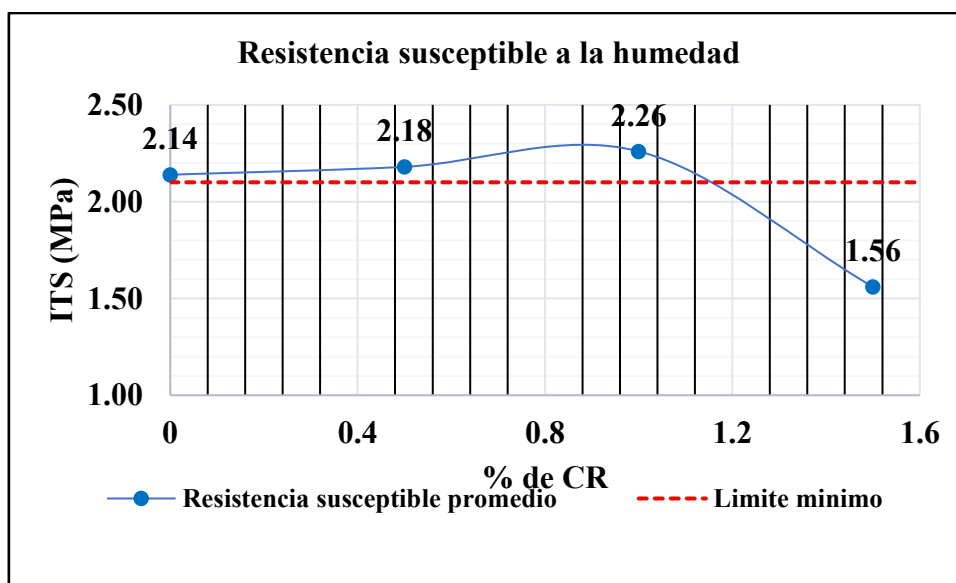
Resultados promedio para la susceptibilidad a la humedad

Mezcla	T°	T'	Susceptibilidad		
	Digestión (°C)	Digestión (hr)	Mpa	Carga	Incremento
Mac + 0%	60	24	2.14	2168	0.0%
Mac + 0.5% CR	60	24	2.18	2204.5	1.87%
Mac + 1% CR	60	24	2.26	2293	5.6%
Mac + 1.5% CR	60	24	1.56	1582.5	-27.0%

Nota. Se muestra los resultados promedios donde por dosificación se elaboraron 4 especímenes donde se separaron 3 especímenes para ser curados durante 24 horas antes de practicar el ensayo, para un 1.5% de dosificación presenta datos menores en función al espécimen patrón.

Figura 21

Resistencia a la susceptibilidad a la humedad



Nota. Se presentan los resultados promedios de la resistencia a la susceptibilidad a la humedad en los especímenes elaborados donde presenta incrementos hasta una dosificación del 1% y para un 1.5% presenta disminuciones frente al espécimen sin CR.

5.1.4. Comportamiento de la resistencia conservada en una mezcla asfáltica en caliente con CR

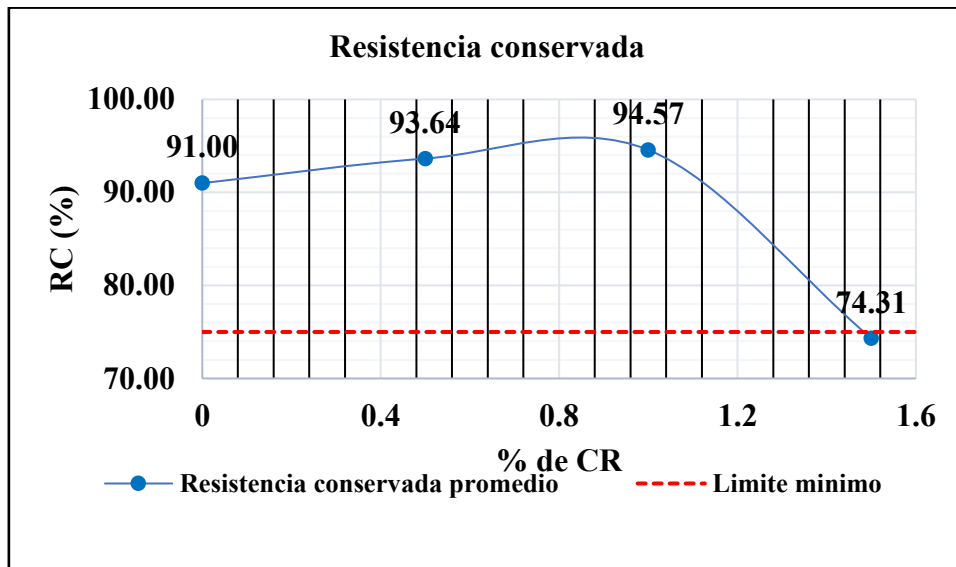
La resistencia conservada en un espécimen es producida por la capa freática por las condiciones de saturación por aguas superficiales que pueden presentarse en el pavimento flexible por ende este parámetro es de vital importancia para practicar siguiendo los procedimientos de la norma MTC E 518 donde indica que el mínimo valor debe de ser de 75% para un huso de tipo MAC-1.

Tabla 26

Resistencia conservada promedio

Mezcla	T°	T'	Resistencia conservada		
	Digestión (°C)	Digestión (hr)	%	Carga	Incremento
Mac + 0%	60	24	91	2168	0.0
Mac + 0.5% CR	60	24	93.64	2204.5	2.90
Mac + 1% CR	60	24	94.57	2293	3.92
Mac + 1.5% CR	60	24	74.31	1582.5	-18.34

Nota. Se muestra los resultados en un mismo conjunto de especímenes promedios donde por dosificación se elaboraron 4 especímenes donde se separaron 3 especímenes para ser curados durante 24 horas antes de practicar el ensayo, para un 1.5% de dosificación presenta datos menores en función al espécimen patrón.

Figura 22*Resistencia conservada*

Nota. Se presentan los resultados promedios de la resistencia conservada en los especímenes elaborados donde presenta incrementos hasta una dosificación del 1% y para un 1.5% presenta disminuciones frente al espécimen sin CR.

5.1.5. Comportamiento de la resistencia al desgaste en una mezcla asfáltica en caliente con CR

La pérdida por desgaste generado por los efectos abrasivos que al ser sometido un pavimento flexible por lo ejes equivalentes de los vehículos produce un desgaste en esta misma.

Figura 23

Especímenes ensayados en la máquina de abrasión los Ángeles



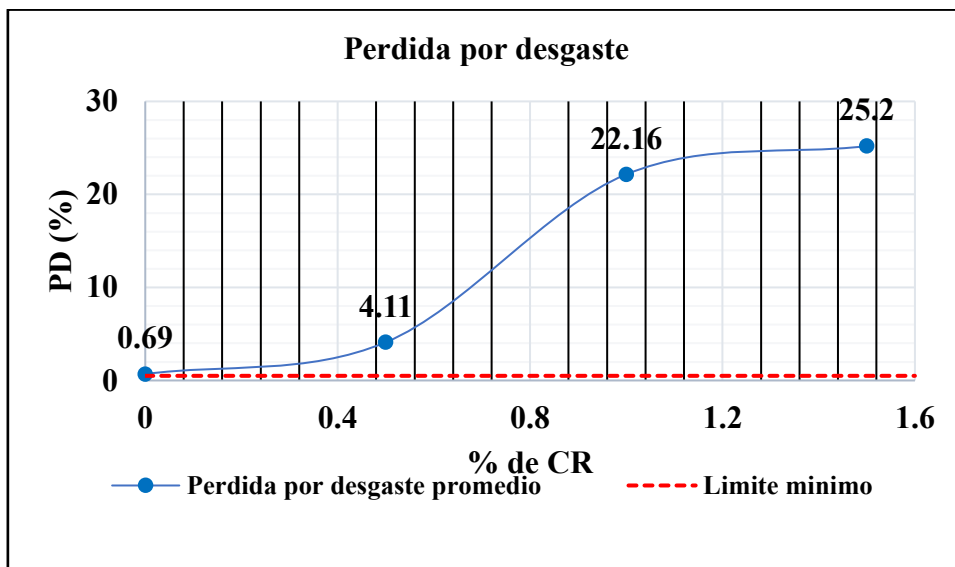
Nota. Especímenes sometidos al ensayo de Cántabro con distintas dosificaciones de CR mediante la máquina de abrasión de los Ángeles.

Tabla 27

Perdida por desgaste

Mezcla	T°	T'	Perdida por desgaste		
	Digestión (°C)	Digestión (hr)	%	N° vueltas (u)	Incremento
Mac + 0%	25	1/2	0.69	300	0.00
Mac + 0.5% CR	25	1/2	4.11	300	-0.05
Mac + 1% CR	25	1/2	22.16	300	-0.31
Mac + 1.5% CR	25	1/2	25.20	300	-0.36

Nota. Se presentan los resultados promedios donde los especímenes por dosificación fueron de 4 especímenes, para las dosificaciones distintas presenta disminuciones donde la pérdida por desgaste es negativa frente al espécimen patrón.

Figura 24*Perdida por desgaste promedio*

Nota. Se presenta los resultados promedios donde a mayor dosificación de CR se genera un mayor desgaste abrasivo que a un 0% se tiene un 0.69% y para un 1.5% de CR se tiene un 25.2%.

Prueba de hipótesis

- Contrastación de hipótesis

Hipótesis general

El caucho reciclado influye significativamente en el comportamiento físico – mecánico en una mezcla asfáltica en caliente, Abancay - 2024.

Hipótesis específicas

a. Hipótesis específica 01

H_0 : El caucho reciclado no influye significativamente en el comportamiento de la resistencia en una mezcla asfáltica en caliente.

H_1 : El caucho reciclado influye significativamente en el comportamiento de la resistencia en una mezcla asfáltica en caliente.

Se tiene para Anova:

- Para un valor crítico de $F <$ al valor calculado de F , se rechaza la hipótesis nula.
- Para un valor crítico de $F >$ al valor calculado de F , se acepta la hipótesis nula.

Se tiene para Tukey:

- Para un valor de $P < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.
- Para un valor de $P > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

a) Descriptiva estadística

Tabla 28

Valores previos para el análisis de varianza de la resistencia

Group	Count	Mean	Variance	SS	$\alpha = 0.05$	
					Lower	Upper
0.0 %	4	1016.75	29070.25	87210.75	814.589	1218.911
0.5 %	4	1053.25	37992.92	113978.75	851.089	1255.411
1.0 %	4	905.89	52626.45	157879.36	703.732	1108.053
1.5 %	4	1012	18054.67	54164.00	809.839	1214.161

Nota: Para un $\alpha = 0.05$, nos muestra datos previos para el análisis de varianza de la resistencia donde se tiene un límite inferior y un límite superior para un número de tratamientos de 16.

b) Análisis de varianza

Tabla 29*Análisis de varianza para la resistencia*

Sources	SS	df	MS	F	P	F critical
B. g	48318.79	3.00	16106.26	3.71	0.71	3.49
W. g	413232.86	12.00	34436.07			
Total	461551.65	15.00	30770.11			

Nota. Para un F crítico de 3.49 de un número de tratamientos de 16 se tiene un F calculado de 3.71 en ese entender se acepta la hipótesis alterna.

c) Tukey

Tabla 30*Diferencia de medias para la resistencia*

Tukey						
CR	mean	std err	p	95 %		
				Lower	Upper	
0.0 %	0.5 %	36.5	92.78	0.01	-353.1	426.1
	1.0%	110.9	92.78	0.99	-278.7	500.5
	1.5 %	4.8	92.78	0.83	-384.9	394.4
0.5 %	0.0 %	2.71	92.78	0.01	-242.2	537.0
	1.0 %	3.32	92.78	0.68	-348.4	430.9
	1.5%	2.30	92.78	0.98	-384.9	394.4
1.0%	0.0%	0.55	92.78	0.01	-353.1	426.1
	0.5%	3.30	92.78	0.98	-242.2	537.0
	1.5%	2.30	92.78	0.68	-283.5	495.7
1.5 %	0.0%	0.49	92.78	0.01	-348.4	430.9
	0.5%	2.30	92.78	0.68	-242.2	537.0
	1.0%	1.00	92.78	0.99	-283.5	495.7

Nota. Para una confiabilidad al 95% para la diferencia de medias mediante Tukey se tiene que existe diferencias significativas para un p calculado que es menor de 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

b. Hipótesis específica 02

H₀: El caucho reciclado no influye significativamente en el comportamiento de la deformabilidad en una mezcla asfáltica en caliente.

H₁: El caucho reciclado influye significativamente en el comportamiento de la deformabilidad en una mezcla asfáltica en caliente.

Se tiene para Anova:

- Para un valor critico de $F <$ al valor calculado de F, se rechaza la hipotesis nula.
- Para un valor critico de $F >$ al valor calculado de F, se acepta la hipotesis nula.

Se tiene para Tukey:

- Para un valor de $P < 0.05$, se rechaza la hipotesis nula.
- Para un valor de $P > 0.05$, se acepta la hipotesis nula.

a) Descriptiva estadística

Tabla 31

Valores previos para el análisis de varianza de la deformabilidad

Group	Count	Mean	Variance	SS	$\alpha = 0.05$	
					Lower	Upper
0.0 %	4	2.51	0.00	0.00	2.27	2.75
0.5 %	4	2.73	0.02	0.07	2.49	2.96
1.0 %	4	3.05	0.04	0.13	2.81	3.29
1.5 %	4	3.18	0.12	0.37	2.94	3.41

Nota: Para un $\alpha = 0.05$, nos muestra datos previos para el análisis de varianza de la deformabilidad donde se tiene un límite inferior y un límite superior para un número de tratamientos de 16.

b) Análisis de varianza

Tabla 32

Análisis de varianza para la deformabilidad

Sources	SS	df	MS	F	P	F critical
B. g	1.10	3	0.37	7.8	0.004	3.49
W. g	0.57	12	0.05			
Total	1.67	15	0.11			

Nota. Para un F crítico de 3.49 de un número de tratamientos de 16 se tiene un F calculado de 7.8 en ese entender se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula por ende si influye significativamente.

c) Tukey

Tabla 33

Diferencia de medias para la deformabilidad

	CR	Tukey				
		mean	std err	p	95 %	
					Lower	Upper
0.0 %	0.5 %	0.22	0.11	0.52	-0.24	0.67
	1.0%	0.54	0.11	0.02	0.08	1.00
	1.5 %	0.67	0.11	0.00	0.21	1.12
0.5 %	0.0 %	0.22	0.11	0.52	-0.24	0.67
	1.0 %	0.33	0.11	0.20	-0.13	0.78
	1.5%	0.45	0.11	0.05	-0.01	0.91
1.0%	0.0%	0.54	0.11	0.52	-0.24	0.67
	0.5%	0.33	0.11	0.20	-0.13	0.78
	1.5%	0.13	0.11	0.85	-0.33	0.58
1.5 %	0.0%	0.67	0.11	0.02	0.21	1.12
	0.5%	0.45	0.11	0.05	-0.01	0.91
	1.0%	0.13	0.11	0.85	-0.33	0.58

Nota. Para una confiabilidad al 95% para la diferencia de medias mediante Tukey se tiene que existe diferencias significativas para un p calculado que es menor de 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

c. Hipótesis específica 03

H_0 : El caucho reciclado no influye significativamente en el comportamiento de la susceptibilidad a la humedad en una mezcla asfáltica en caliente.

H_1 : El caucho reciclado influye significativamente en el comportamiento de la susceptibilidad a la humedad en una mezcla asfáltica en caliente.

Se tiene para Anova:

- Para un valor critico de $F <$ al valor calculado de F , se rechaza la hipotesis nula.
- Para un valor critico de $F >$ al valor calculado de F , se acepta la hipotesis nula.

Se tiene para Tukey:

- Para un valor de $P < 0.05$, se rechaza la hipotesis nula.
- Para un valor de $P > 0.05$, se acepta la hipotesis nula.

a) Descriptiva estadística

Tabla 34

Valores previos para el análisis de varianza de la susceptibilidad a la humedad

Group	Count	Mean	Variance	SS	$\alpha = 0.05$	
					Lower	Upper
0.0 %	4	2.1	0.01	0.04	1.77	2.51
0.5 %	4	2.2	0.01	0.02	1.80	2.55
1.0 %	4	2.3	0.01	0.03	1.89	2.64
1.5 %	4	1.6	0.45	1.34	1.19	1.93

Nota: Para un $\alpha = 0.05$, nos muestra datos previos para el análisis de varianza de la susceptibilidad a la humedad donde se tiene un límite inferior y un límite superior para un numero de tratamientos de 16.

b) Análisis de varianza

Tabla 35

Análisis de varianza para la susceptibilidad a la humedad

Sources	SS	df	MS	F	P	F critical
B. g	1.23	3.00	0.41	3.58	0.04	3.49
W. g	1.42	12.00	0.12			
Total	2.65	15.00	0.18			

Nota. Para un F critico de 3.49 de un numero de tratamientos de 16 se tiene un F calculado de 3.58 en ese entender se acepta la hipótesis alterna.

c) Tukey

Tabla 36

Diferencia de medias para la deformabilidad

Tukey						
CR	mean	std err	p	95 %		
				Lower	Upper	
0.0 %	0.5 %	0.04	0.17	1.00	-0.69	0.76
	1.0%	0.12	0.17	0.96	-0.60	0.84
	1.5 %	0.58	0.17	0.04	-0.14	1.30
0.5 %	0.0 %	0.04	0.17	1.00	-0.69	0.76
	1.0 %	0.09	0.17	0.98	-0.63	0.81
	1.5%	0.62	0.17	0.04	-0.11	1.34
1.0%	0.0%	0.12	0.17	0.96	-0.60	0.84
	0.5%	0.09	0.17	0.98	-0.63	0.81
	1.5%	0.70	0.17	0.04	-0.02	1.42
1.5 %	0.0%	0.58	0.17	0.04	-0.14	1.30
	0.5%	0.62	0.17	0.04	-0.11	1.34
	1.0%	0.70	0.17	0.04	-0.02	1.42

Nota. Para una confiabilidad al 95% para la diferencia de medias mediante Tukey se tiene que existe diferencias significativas para un p calculado que es menor de 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

d. Hipótesis específica 04

H₀: El caucho reciclado no influye significativamente en el comportamiento de la resistencia conservada en una mezcla asfáltica en caliente.

H₁: El caucho reciclado influye significativamente en el comportamiento de la resistencia conservada en una mezcla asfáltica en caliente.

Se tiene para Anova:

- Para un valor critico de $F <$ al valor calculado de F, se rechaza la hipotesis nula.
- Para un valor critico de $F >$ al valor calculado de F, se acepta la hipotesis nula.

Se tiene para Tukey:

- Para un valor de $P < 0.05$, se rechaza la hipotesis nula.
- Para un valor de $P > 0.05$, se acepta la hipotesis nula.

a) Descriptiva estadística

Tabla 37

Valores previos para el análisis de varianza de la resistencia conservada.

Group	Count	Mean	Variance	SS	$\alpha = 0.05$	
					Lower	Upper
0.0 %	4	0.68	0.21	0.62	0.17	1.19
0.5 %	4	0.70	0.22	0.66	0.19	1.22
1.0 %	4	0.71	0.22	0.67	0.20	1.22
1.5 %	4	0.56	0.24	0.72	0.04	1.07

Nota: Para un $\alpha = 0.05$, nos muestra datos previos para el análisis de varianza de la susceptibilidad a la humedad donde se tiene un límite inferior y un límite superior para un numero de tratamientos de 16.

b) Análisis de varianza

Tabla 38

Análisis de varianza para la resistencia conservada

Sources	SS	df	MS	F	P	F critical
B. g	0.06	3.00	0.02	4.75	0.01	3.49
W. g	2.67	12.00	0.22			
Total	2.73	15.00	0.18			

Nota. Para un F critico de 3.49 de un numero de tratamientos de 16 se tiene un F calculado de 4.75 en ese entender se acepta la hipótesis alterna.

c) Tukey

Tabla 39

Diferencia de medias para la resistencia conservada

CR	Tukey					
	mean	std err	p	95 %		
				Lower	Upper	
0.0 %	0.5 %	0.02	0.24	0.03	-0.97	1.01
	1.0%	0.03	0.24	1.0	-0.96	1.02
	1.5 %	0.12	0.24	1.0	-0.87	1.11
0.5 %	0.0 %	0.02	0.24	0.03	-0.97	1.01
	1.0 %	0.01	0.24	0.98	-0.98	1.00
	1.5%	0.15	0.24	0.04	-0.85	1.14
1.0%	0.0%	0.12	0.24	0.96	-0.96	1.02
	0.5%	0.01	0.24	0.98	-0.98	1.0
	1.5%	0.15	0.24	0.04	-0.84	1.14
1.5 %	0.0%	0.12	0.24	0.04	-0.87	1.11
	0.5%	0.15	0.24	0.04	-0.85	1.14
	1.0%	0.01	0.24	0.04	-0.98	1.14

Nota. Para una confiabilidad al 95% para la diferencia de medias mediante Tukey se tiene que existe diferencias significativas para un p calculado que es menor de 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

e. Hipótesis específica 05

H_0 : El caucho reciclado no influye significativamente en el comportamiento al desgaste en una mezcla asfáltica en caliente.

H_1 : El caucho reciclado influye significativamente en el comportamiento al desgaste en una mezcla asfáltica en caliente.

Se tiene para Anova:

- Para un valor critico de $F <$ al valor calculado de F , se rechaza la hipotesis nula.
- Para un valor critico de $F >$ al valor calculado de F , se acepta la hipotesis nula.

Se tiene para Tukey:

- Para un valor de $P < 0.05$, se rechaza la hipotesis nula.
- Para un valor de $P > 0.05$, se acepta la hipotesis nula.

a) Descriptiva estadística

Tabla 40

Valores previos para el análisis de varianza del desgaste

Group	Count	Mean	Variance	SS	$\alpha = 0.05$	
					Lower	Upper
0.0 %	4	0.69	0.05	0.14	-5.87	7.25
0.5 %	4	4.11	1.98	5.93	-2.45	10.67
1.0 %	4	22.16	19.12	57.37	15.60	28.72
1.5 %	4	25.20	123.84	371.51	18.64	31.76

Nota: Para un $\alpha = 0.05$, nos muestra datos previos para el análisis de varianza de desgaste donde se tiene un límite inferior y un límite superior para un número de tratamientos de 16.

b) Análisis de varianza

Tabla 41

Análisis de varianza para el desgaste

Sources	SS	df	MS	F	P	F critical
B. g	1853.72	3.00	617.91	17.05	0.00	3.49
W. g	434.95	12.00	36.25			
Total	2288.67	15.00	152.58			

Nota. Para un F crítico de 3.49 de un número de tratamientos de 16 se tiene un F calculado de 17.05 en ese entender se acepta la hipótesis.

c) Tukey

Tabla 42

Diferencia de medias para el desgaste

		Tukey				
CR		mean	std err	p	95 %	
					Lower	Upper
0.0 %	0.5 %	3.43	3.01	0.85	-9.21	16.06
	1.0%	21.48	3.01	0.00	8.84	34.11
	1.5 %	24.52	3.01	0.00	11.88	37.15
0.5 %	0.0 %	3.43	3.01	0.85	-9.21	16.06
	1.0 %	18.05	3.01	0.01	5.41	30.69
	1.5%	21.09	3.01	0.00	8.45	33.73
1.0%	0.0%	21.48	3.01	0.00	8.84	34.11
	0.5%	18.5	3.01	0.01	5.41	60.69
	1.5%	3.04	3.01	0.89	-9.60	15.68
1.5 %	0.0%	24.52	3.01	0.00	11.88	37.15
	0.5%	21.09	3.01	0.00	8.45	33.73
	1.0%	3.04	3.01	0.89	-9.6	15.68

Nota. Para una confiabilidad al 95% para la diferencia de medias mediante Tukey se tiene que existe diferencias significativas para un p calculado que es menor de 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Discusión de resultados

Discusión de resultados del objetivo general

Para el objetivo general determinamos que el caucho reciclado influye significativamente en el comportamiento físico – mecánico en una mezcla asfáltica en caliente para una dosificación al 1.0% en comparación al espécimen sin adición de CR.

Discusión de resultados del objetivo específico 01:

La resistencia en una mezcla asfáltica muestra valores en un mismo conjunto de especímenes de 1001.5 kg, 1187 kg, 860.3 kg que provienen de 0.5%, 1.0%, 1.5% respectivamente (consultar tabla 22), donde el mínimo valor es de 860.3 kg para un 1.5% de caucho reciclado (CR). Sin embargo, para una adición al 1.5% de CR en una mezcla asfáltica modificada tiende a disminuir.

Burgos & Rodríguez, (2021). Indica en su investigación que alcanzo valores para dosificaciones de CR de 0.5%, 1.0%, 1.5% de 1000.3 kg, 1108.43 kg, 941.2 kg respectivamente, sin embargo, en comparación con nuestra tesis los datos obtenidos son casi iguales porque la calidad de agregados son distintas para nuestra tesis donde existe una mayor resistencia de 1187 kg para un dosificación del 1.0% y para un 1.0% se tiene 1108.43 kg de la tesis en comparación.

Discusión de resultados del objetivo específico 02:

La deformabilidad en una mezcla asfáltica muestra valores en un mismo conjunto de especímenes de 2.73 mm, 3.06 mm, 3.18 mm que provienen de 0.5%, 1.0%, 1.5%

respectivamente (consultar tabla 23), donde el mínimo valor es de 2.73 mm para un 0.5% de caucho reciclado (CR). Sin embargo, para una adición al 1.5% de CR en una mezcla asfáltica modificada tiende a incrementar, pero los valores están comprendidos según norma entre un rango de 2 a 4 mm.

Burgos & Rodríguez, (2021). Indica en su investigación que alcanzo valores para dosificaciones de CR de 0.5%, 1.0%, 1.5% de 9.28 mm, 8.72 mm, 10.14 mm respectivamente, sin embargo, en comparación con nuestra tesis los datos obtenidos son casi iguales porque la calidad de agregados son distintas, para nuestra tesis donde existe una menor deformabilidad de 3.06 mm para un dosificación del 1.0% y para un 1.0% se tiene 8.72 mm de la tesis en comparación.

Discusión de resultados del objetivo específico 03:

La susceptibilidad a la humedad en una mezcla asfáltica muestra valores en un mismo conjunto de especímenes de 2.18 Mpa, 2.26 Mpa, 1.56 Mpa que provienen de 0.5%, 1.0%, 1.5% respectivamente (consultar tabla 24), donde el mínimo valor es de 1.56 mm para un 1.5% de caucho reciclado (CR). Sin embargo, para una adición al 1.5% de CR en una mezcla asfáltica modificada tiende a disminuir.

Tesis con proporciones de CR en una mezcla asfáltica con respecto a la susceptibilidad a la humedad mediante el ensayo de tracción indirecta para contrastar con otros resultados no se han encontrado estudios como un espécimen responde a la humedad. Este ensayo determina si un espécimen es susceptible a las condiciones de saturación superficial generados por la capa freática.

Discusión de resultados del objetivo específico 04:

La resistencia conservada en una mezcla asfáltica muestra valores en un mismo conjunto de especímenes de 93.64%, 94.57%, 74.31% que provienen de 0.5%, 1.0%, 1.5%

respectivamente (consultar tabla 25), donde el mínimo valor es de 74.31% para un 1.5% de caucho reciclado (CR). Sin embargo, para una adición al 1.5% de CR en una mezcla asfáltica modificada tiende a disminuir.

Tesis con proporciones de CR en una mezcla asfáltica con respecto a la resistencia conservada mediante el ensayo de tracción indirecta para contrastar con otros resultados no se han encontrado estudios como un espécimen responde a las condiciones de saturación. Este ensayo determina la pérdida de la cohesión por la acción del agua que se produce en un espécimen de bitumen asfáltico.

Discusión de resultados del objetivo específico 05:

La pérdida por desgaste en una mezcla asfáltica muestra valores en un mismo conjunto de especímenes de 4.11%, 22.16%, 25.20% que provienen de 0.5%, 1.0%, 1.5% respectivamente (consultar tabla 26), donde el mínimo valor es de 4.11% para un 0.5% de caucho reciclado (CR). Sin embargo, para una adición al 1.5% de CR en una mezcla asfáltica modificada tiende a incrementar.

Tesis con proporciones de CR en una mezcla asfáltica con respecto a la pérdida por desgaste mediante el ensayo de cántabro para contrastar con otros resultados no se han encontrado estudios como un espécimen responde a las cargas abrasivas que se generan por los vehículos que producen un desgaste en la capa del pavimento. Este ensayo determina la pérdida por desgaste por la acción de los ejes equivalentes que se producen en un pavimento flexible y que se simula mediante un espécimen de bitumen asfáltico.

VI: Conclusiones

Conclusión para el objetivo general

La modificación de la mezcla asfáltica convencional mediante las dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5% de CR a través de laboratorio en el comportamiento físico – mecánico en una mezcla asfáltica modificada si influye significativamente para una proporción al 1% (consultar tabla 22, 23, 24, 25, 26), donde la modificación a un 1% es la más adecuada para modificar una mezcla asfáltica para la resistencia, deformación, susceptibilidad a la humedad y la pérdida al desgaste.

Conclusión para el objetivo específico 01

Se determino la resistencia donde los resultados alcanzados son de 1001.5 kg, 1187 kg, 860.3 kg para las dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5% de CR respectivamente (consultar tabla N°22), la tendencia es que a un 1.0% de adición es la más optima ya que al añadir un 1.5% de CR disminuye la resistencia en una mezcla asfáltica en caliente.

Conclusión para el objetivo específico 02

Se demostró la deformabilidad o también conocido como el flujo donde los resultados alcanzados son de 2.73 mm, 3.06 mm, 3.18 mm para dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5% de CR respectivamente (consultar tabla N°23), donde los valores están comprendidos dentro de los parámetros de las especificaciones técnicas generales para la construcción donde indica los intervalos de 2 – 4 mm, pero a mayor adición de CR empieza a aumentar los vacíos.

Conclusión para el objetivo específico 03

Se evaluó la susceptibilidad a la humedad mediante el ensayo de tracción diametral donde se obtuvieron los siguientes resultados 2.18 Mpa, 2.18 Mpa, 2.26 Mpa para

dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5% de CR respectivamente (consultar tabla 24), si bien todos los valores son mayores a 2.10 Mpa según la norma estos mismos se incrementan a mayor adición de CR y por ende es más susceptible a la humedad bajo condiciones de saturaciones superficiales.

Conclusión para el objetivo específico 04

Se determino la resistencia conservada donde los resultados alcanzados son de 93.64%, 94.57%, 74.31% para las dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5% de CR respectivamente (consultar tabla N° 25), la tendencia es que hasta un 1.0% de adición aumenta la resistencia conservada, pero para una adición al 1.5% empieza a disminuir y no cumple con lo especificado en la norma donde indica que el mínimo es para un huso MAC-1 de 75 % como mínimo.

Conclusión para el objetivo específico 05

La pérdida por desgaste se evaluó a través del ensayo Cántabro, obteniendo valores de 4.11%, 22.16% y 25.20% para las dosificaciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% de CR, respectivamente (ver tabla N° 26). Se observará que el incremento en la adición de CR tuvo un efecto negativo, ya que a medida que su proporción aumentaba, también lo hacía la pérdida por desgaste, atribuida a la acción abrasiva generada por los ejes equivalentes de los vehículos.

VII. Recomendaciones

1. Para modificaciones en una mezcla asfáltica en el futuro se recomienda dosificaciones hasta el 1% de adición de CR, ya que para mayores adiciones empieza a disminuir la resistencia, la deformabilidad empieza a aumentar, es más susceptible a la humedad y se genera mayor desgaste.
2. Para la prueba de resistencia se recomienda aplicar nuevos métodos como las gradaciones de Superpave para tamaños nominales máximos de 19 mm, pero la modificación hasta un 1% de CR para una mezcla asfáltica convencional.
3. Para la prueba de la deformabilidad o también conocido como flujo se recomienda aplicar nuevos métodos como las gradaciones de Superpave para tamaños nominales máximos de 19 mm, pero la modificación hasta un 1% de CR para una mezcla asfáltica convencional.
4. Para la susceptibilidad de la humedad se recomienda practicar en campo si se cuenta con la economía, tiempo en un tramo de 100 m para ver cómo se comporta el CR bajo las condiciones de saturación superficial ya que al elaborar los especímenes el CR presenta aumentos de vacíos.
5. Para la resistencia conservada se recomienda practicar en campo si se cuenta con la economía, tiempo en un tramo de 100 mm para ver cómo se comporta el CR en condiciones al clima en la zona a practicar ya que al aumentar el CR disminuye la resistencia conservada.
6. Para la pérdida por desgaste se recomienda aplicar la prueba de la rueda cargada para ver el comportamiento del asfalto frente a las condiciones de carga de los ejes equivalentes.

VIII. Referencias

- Aguilar, K., y Chauca, C. (2022). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente pen 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente pen 85/100 adicionando grafito* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5051>
- Arias, N. (2006). *Proposito de la operacionalizacion de variables*[Tesis de licenciatura,Universidad Federal de Bogota]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2179>
- Baptista, P. (2010). *Instrumentos de recoleccion de datos*[Tesis de licenciatura,Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3G7gFdS>
- Bernardo, Y., & Mendiguiri, Y. (2022). *Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica usando polímeros Polietilentereftalato.* Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5787>
- Bisquerra, P. (2019). *Metodologia en una ejecucion sistematica*[Tesis de licenciatura,Unversidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3zxEBVe>
- Burgos, E., & Rodríguez, J. (2021). *Influencia del caucho reciclado en las propiedades físicas – mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente, Trujillo 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30437>
- Candia, D., & Ccorahua, L. (2020). *Análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con NTC (nanotubos decarbono) con*

- respecto a una mezcla asfáltica convencional, según el método marshall* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4087>
- Cañari, C. (2019). *Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con adición de fibras de polipropileno* [Tesis de Posgrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2488>
- Cardona, V., Horta, J., & Juan, H. (2023). *Estabilidad y flujo en una mezcla asfáltica con sustitución parcial en el agregado pétreo por desechos de toba volcánica* [Tesis de posgrado, Universidad Autonoma de Mexico]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432023000100003&lang=es
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. San Marcos. Obtenido de https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1
- Carrizales, J. (2015). *Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3274319>
- Cárdenas, P., Tamara, F., Tapia, A., & Claude, J. (2023). “*Evaluación comparativa de las características físicas y comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionada con polietileno de alta densidad (hdpe) reciclado con respecto a una muestra patrón utilizando cemento asfáltico pen 85/100, con agregados de la región cusco-2022.*” <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5482>

- Condori, M. W. C., & Lipe, M. D. (2022). *Influencia del caucho reciclado en el comportamiento físico mecánico en el concreto estructural $f'c=210$ kg/cm²*, Juliaca 2022. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98812>.
- Cruz, N., Camacho, E., & Aguiar, P. (2021). *Evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster [Tesis de posgrado, Universidad de Costa Rica]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052021000200013&lang=es
- Del Rio, P. (2018). *La hipótesis en la investigación*. Scielo, 16(1), 4. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-76962018000100122
- ECOASFALT. (2024). Obtenido de <https://www.ecoasfalt.es/consecuencias-del-asfalto-en-mal-estado-de-conservacion/>
- Fernandez, C. (2006). *Observacion directa mediante el registro sistematico*[Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Ciencias Aplicadas]. Repositorio institucional. doi:<https://bit.ly/3HIugIU>
- FIGARO, L. (2018). ELECONOMISTA. Obtenido de <https://www.eleconomista.es/opinion-blogs/noticias/9319488/08/18/Mal-estado-de-la-red-de-carreteras-francesas-.html>
- Garnica. (2005). *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas*. Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>

- Gioconda, C. (2014). ENSAYO RICE. *Obtenido de* chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pavimentosulacivil.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/01/prc3a1ctica-nc2b0-38-ensayo-rice.pdf
- Giovannini, E. (2024). NOVA. *Obtenido de* https://www.agenzianova.com/es/news/giovannini-gravi-carenze-manutentive-la-rete-stradale-italiana-va-ammodernata/
- Granados, J. (2017). *Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho mediante proceso por vía seca respecto a la mezcla asfáltica convencional* [Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/1572
- Goli, A. (2022). *The study of the feasibility of using recycled steel slag aggregate in hot mix asphalt. Case Studies in Construction Materials, 16, e00861.* https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2021.E00861
- Higuera, C., Cárdenas, P. J., & Vargas, A. A. (2022). *Evaluación experimental y numérica del uso de caucho reciclado como apoyo elastomérico en modelos de puentes simplemente apoyados. Revista UIS Ingenierías, ISSN-e 2145-8456, ISSN 1657-4583, Vol. 21, No. 2, 2022 (Ejemplar Dedicado a: Revista UIS Ingenierías), Págs. 165-174, 21(2), 165–174.* https://doi.org/10.18273/revuin.v21n2-2022014
- León, P., Maila, J., & Efrén, A. (2020). *Influencia de aditivos (polímeros y polialuminio) en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente* [Tesis de posgrado, Universidad Central de Ecuador]. Repositorio Institucional. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2602-84842020000100060&lang=es

- Martinez, J. (2009). *Rehabilitacion de pavimentos del aeropuerto del Cusco usando modificadores de asfalto* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Cusco: Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/20.500.14138/114/1/martinez_jc-ventocilla_jc.pdf
- MTC. (2019). *La Red Vial del Perú*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mapas_viales.html
- MTC E 504. (2014). *Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/315831551/Mtc-504-Marshall>
- MTC E 515. (2000). *Ensayo de Cántabro perdida por desgaste*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/263717332/Mtc-515>
- MTC E 518. (2014). *Efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/394091862/Mtc-e-518-inmersion-Compresion>
- Navarro, J. (2017). *Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipan]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe//handle/20.500.12802/4569>
- Palomino, F., & Aguirre, J. (2022). *Evaluacion comparativa de las características físicas y comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE)* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5482>

- Paye, D. (2017). *Aceleracion de la evolucion de la resistencia a la compresion del concreto hidraulico en difrentes relaciones agua-cemento* [Tesis de licenciatura, Universidad Nestor Caceres Velasquez]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3bAlmmh>
- Plaza, S., & Rincón, G. (2014). *Estudio de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica para rodadura utilizando asfalto 80-100 y su relación con el desempeño en campo* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12696>
- QuestionPro. (2021). *Diseño de investigacion Software de Encuestas. BUSINESS*. Obtenido de <https://www.questionpro.com>
- Renego, D. (2022). *España suspende en la conservacion de las carreteras y estado del pavimento*. Obtenido de https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-espana-suspende-conservacion-carreteras-y-estado-pavimento-201901230217_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.abc.es%2Fmotor%2Freportajes%2Fabci-espana-suspende-conservacion-carreteras-y-estado-pavimento-201901230217_
- Rivera, E. (2023). *Estudio comparativo del comportamiento mecanico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando fibra de poliester y una mezcla asfáltica convencional* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana los Andes]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/6744>
- Salazar, L., & Ericson, T. (2022). *Análisis comparativo de una mezcla asfáltica tradicional frente a una mezcla asfáltica con material plástico, Villa María del Triunfo - 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66283>

- UNIFORT. (2024). PAVIMENTOS INDUSTRIALES. *Obtenido de* <https://www.unifort.es/pavimentos-asfalto/pavimentos-flexibles-rigidos/>
- UTEA. (2021). *Comite de etica de investigacion. Abancay: Resolucion del consejo universitario. Obtenido de* <https://transparencia.utea.edu.pe/download/>
- Valle, O. (2020). *Pasos para elaborar una tesis de tipo correlacional. Obtenido de* http://cliic.org/2020/Taller-Normas-APA-2020/libro-elaborar-tesis-tipo-correlacional-octubre-19_c.pdf
- Villalpando, J. (2001). *Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU y Bechhofer para la selección de medias. Agrocienza, 35(1), 79-86. Obtenido de* <https://www.redalyc.org/pdf/302/30235107.pdf>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes