UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con caucho molido, con respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica convencional, según el método Marshall, Abancay- Apurímac 2024

Asesor:

MSc. Maldonado Mendívil, Ángel

Autores:

Antezana Palomino, Franklin

Antezana Palomino, Edilberto

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°: 020

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de **febrero** día **miércoles** del **19** siendo las **03:00 pm**, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral **N° 0147-2025-EPIC-FI-UTEA-SA** de fecha **11 de febrero** del **2025**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente	:	Dra. Vera Teves, Rosa Marina
Dictaminante	:	Ing. Cayo Baca, Holguer
Replicante	:	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Implementación de la filosofía Lean Construction para mejorar la productividad de la mano de obra en los elementos estructurales, tabiquería del proyecto de infraestructura - Abancay, 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Antezana Palomino, Edilberto

Br: Antezana Palomino, Franklin

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 (**)
Antezana Palomino, Edilberto	**Aprobado**
Antezana Palomino, Franklin	**Aprobado**

Siendo las **16:39 pm** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dra. Vera Teves, Rosa Marina

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

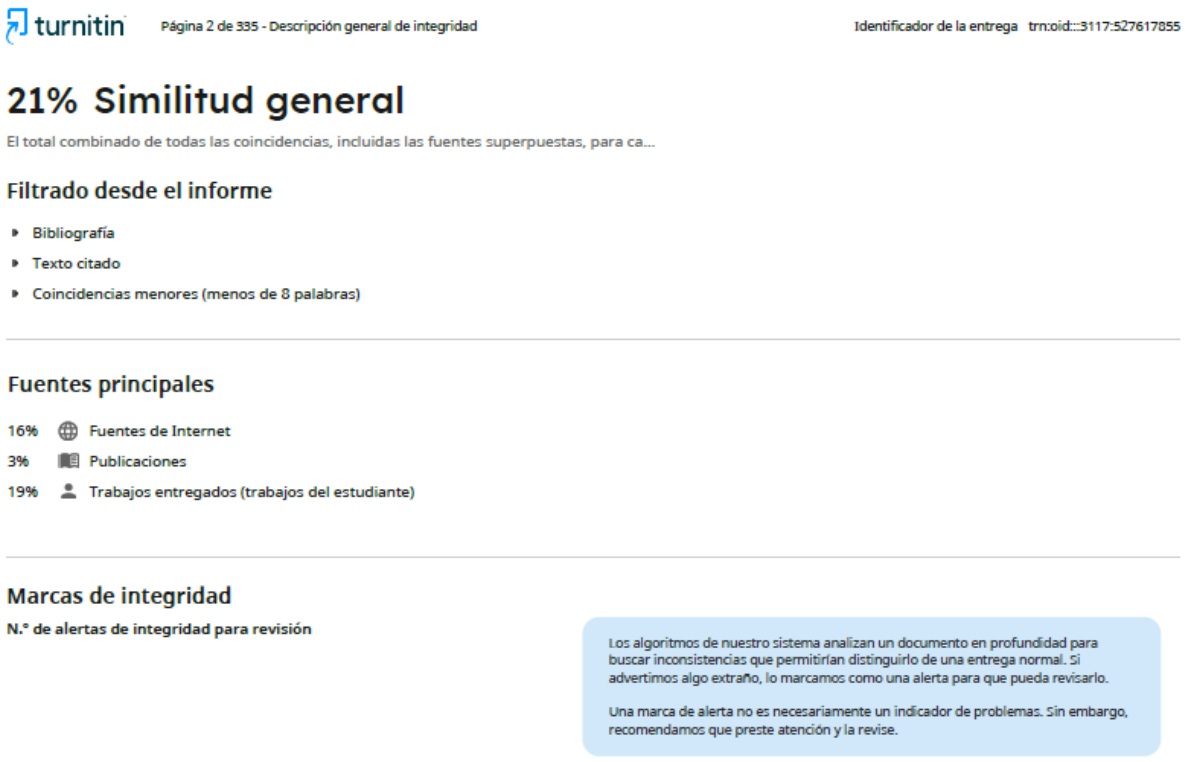
Abancay 04 de marzo del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 314

(*): Mayoría: Dos integrantes del Jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del Jurado aprueban o desaprueban, Art. 58 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 13: Aprobado, 14 a 16: Aprobado-Notable, 17 y 20: Aprobado-con Distinción, Art. 58 RGGAT.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

Reporte de similitud



turnitin Página 2 de 335 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::3117:527617855

21% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

16% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
19% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° 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	:	Antezana Palomino Edilberto Antezana Palomino Franklin
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	45986968 47209798
URL ORCID	:	https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-0164-2219
URL ORCID	:	https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0007-9922-6892
Datos Del Asesor		
Apellido y Nombres	:	MSc. Maldonado Mendívil Ángel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos De la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de la investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación.	:	2024
Fuente de financiamiento	:	Auto financiado
Porcentaje de similitud	:	21 %
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-o/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Esta tesis va enfocado en especial a mi señora madre Ermitaña Palomino Escalante, a Mauro Antezana Saavedra mi señor padre debido a que en todo momento nos brindaron su incondicional apoyo, a mis abuelos, hermana y familiares cercanos que nos motivaron e impulsaron a lograr las visiones y metas más anheladas en el mundo de la investigación.

Antezana

Agradecimientos

Primeramente, agradecer a nuestro señor creador, a nuestro asesor el MSc. Ing. Ángel Maldonado Mendívil por su respaldo y orientación en todo momento en la ejecución de la tesis.

. **Antezana**

Resumen

Dicha investigación se realizó con el objetivo de optimizar el desempeño mecánico de la Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con la incorporación de caucho molido, empleando soluciones a problemas como la generación de baches y ahuellamiento. La metodológico es con una perspectiva cuantitativa; tipo descriptivo, correlacional; Concepción de la investigación experimenta; Resultados a utilizar fueron: agregados ,asfalto en sólido PEN 60-70 y caucho molido ,en la cual se hizo el diseño de mezclas asfálticas primeramente con la muestra patrón ,después se adiciono caucho molido con porcentajes del 0%,1%,1.5%, 2% utilizando el equipo Marshall donde se comenzó evaluando su desempeño mecánico con ensayos que nos determinan la fluidez, la estabilidad y la resistencia al desgaste y la tracción indirecta, siendo estos los que más determinan sus propiedades mecánicas, con temperaturas constantes de 150 grados centígrado. La conclusión en el estudio de tesis es el incremento en el desempeño mecánico de la MAC, con adición de caucho molido, donde si podemos afirmar que el caucho molido sí mejora las propiedades mecánicas hasta un 1.0% de la adición de caucho molido, donde mejoramos los desempeños según su comportamiento flujo-estabilidad con adición del 1% de caucho molido asiendo que esta incremente su resistencia a la tracción indirecta en 8.46 %, más que la muestra patrón. no obstante, al adicionar caucho molido al 1.5 %y 2 % se da una disminución de su resistencia al desgaste con respecto a la mezcla bituminosa inicial.

Palabras clave: comportamiento mecánico, resistencia al desgaste, resistencia a la tracción indirecta, resistencia a la deformación.

Abstract

This research was conducted with the aim of optimizing the mechanical performance of hot mix asphalt (HMA) with the incorporation of ground rubber, using solutions to problems such as the formation of potholes and rutting. The methodology is quantitative in nature; descriptive, correlational; experimental research design; the results to be used were: aggregates, solid asphalt PEN 60-70, and ground rubber, in which the design of asphalt mixtures was first made with the standard sample, then ground rubber was added at percentages of 0%, 1%, 1.5%, and 2% using Marshall equipment, where we began by evaluating its mechanical performance with tests that determine its fluidity, stability and resistance to wear and indirect traction, these being the factors that most determine its mechanical properties, at constant temperatures of 150 degrees Celsius. The conclusion of the thesis study is that the mechanical performance of the asphalt mixture increases with the addition of ground rubber, where we can affirm that ground rubber does improve mechanical properties up to 1.0% of the addition of ground rubber, where we improve performance according to its flow behavior -stability with the addition of 1% ground rubber, increasing its indirect tensile strength by 8.46%, more than the standard sample. However, when adding 1.5% and 2% ground rubber, there is a decrease in wear resistance compared to the initial bituminous mixture.

Key words: mechanical behavior, resistance to deformation, indirect tensile strength, wear resistance.

Índice general

Portada ……..... i

Acta de sustentación.....ii

Reporte de similitud iii

Metadatos.....iv

Dedicatoria.....v

Agradecimientos.....vi

Resumen vii

Abstract.....viii

Índice de tablas.....xiv

Índice de figuras xvii

Índice de Anexos xix

I. Introducción.....21

II. Planteamiento del Problema 23

2.1. Descripción y Formulación del Problema.....23

2.1.1. Descripción.....23

2.2. Objetivos 26

2.2.1. Objetivo general.....26

2.2.2. Objetivos específicos 26

2.3. Justificación e importancia 27

2.3.1. Justificación 27

2.3.2. Importancia 27

2.4. Hipótesis 28

2.4.1. Hipótesis general 28

2.4.2. Hipótesis específicas 28

2.5. Variables 28

III. Marco Teórico 32

3.1. Antecedentes 32

3.1.1. A nivel internacional 32

3.1.2. A nivel nacional 34

3.1.3. A nivel regional y local 35

3.2. Bases Teóricas 36

3.2.1. Asfalto 36

3.2.2. Mezclas asfálticas en caliente 36

3.2.3. Características de la MAC, en caliente 36

3.2.4. Parámetros volumétricos de la MAC. 38

3.2.5. Generalidades sobre el agregado 39

3.2.6. Las propiedades de las MAC, en base a ensayos a utilizar 43

3.2.7. Caucho de llantas recicladas 47

3.3. Definición de términos 49

3.3.1. Abrasión 49

3.3.2. Propiedades mecánicas 49

3.3.3. Asfalto 49

3.3.4. Mezcla asfáltica en caliente 49

3.3.5. Estabilidad o Resistencia a la deformación permanente 49

3.3.6. Deformación plástica de las MAC, en base a su resistencia 50

3.3.7. Grava 50

3.3.8. Caucho molido 50

3.3.9. Daño por humedad inducida 50

3.3.10. Flujo 50

3.3.11. Estabilidad 50

3.3.12. Adición 51

IV. Metodología 52

4.1. Tipo y Nivel de investigación 52

4.1.1. Tipo de Investigación 52

4.1.2. Nivel de investigación 52

4.1.3. Diseño de investigación 52

4.2. Ámbito temporal y espacial.....52

4.2.1. Temporal 52

4.2.2. Espacial 52

4.3. Población y muestra.....53

4.3.1. Población.....53

4.3.2. Muestra.....53

4.4. Instrumentos 55

4.5. Procedimiento estadístico 55

4.6. Análisis de datos 56

4.7. Consideraciones éticas 56

V. Resultados y discusión.....57

5.1. Resultados 57

5.1.1. Ensayo Marshall de MAC, prueba de resistencia a la deformación.....57

5.1.2. Resistencia a la compresión diametral mediante el ensayo de TSR 86

5.1.3. Procedimiento para el ensayo de cántabro 89

5.2. Discusión de resultados.....91

5.2.1. Discusión de resultados del objetivo general 91

5.2.1.1. Discusión de resultados del objetivo específico 1 91

5.2.1.2. Discusión de resultados del objetivo específico 2 92

5.2.1.3. Discusión de resultados del objetivo específico 3 93

5.2.2. Prueba de hipótesis 93

VI. Conclusiones.....107

6.1.1. Conclusión para el objetivo específico 1 107

6.1.2. Conclusión para el objetivo específico 2 107

6.1.3. Conclusión para el objetivo específico 3 107

VII. Recomendaciones.....109

7.1. Recomendación para el objetivo general.....109

7.1.1. Recomendación para el objetivo específico 1 109

7.1.2. Recomendación para el objetivo específico 2 109

7.1.3. Recomendación para el objetivo específico 3 109

VIII. Referencias.....111

IX. Anexos .....¡Error! Marcador no definido.

Índice de tablas

Tabla 1 *Operacionalización de variable 1* 30

Tabla 2 *Operacionalización de variable 2* 31

Tabla 3 Mezclas asfálticas en caliente según sus gradaciones 42

Tabla 4 *Prueba Marshall* (MTCE 504, 2016)..... 54

Tabla 5 *Prueba de tracción indirecta de* (NLT-346/90, 1990) 54

Tabla 6 *Ensayo de cántabro* (MTC E 515, 2016)..... 55

Tabla 7 Cemento asfaltico PEN 60/70 – Especificaciones técnicas. 57

Tabla 8 Parámetros para el agregado grueso..... 58

Tabla 9 Agregado grueso -Tamaño máximo ¾”..... 59

Tabla 10 *Caracterización del agregado grueso* 61

Tabla 11 *Parámetros para el agregado fino*..... 62

Tabla 12 *Gradación del agregado fino*..... 63

Tabla 13 *Rango de aceptabilidad de los agregados finos.* 65

Tabla 14 *Huso MAC – 1 Según la dosificación de agregados mediante %* 66

Tabla 15 *Combinación optima de agregados según MAC – 1*..... 67

Tabla 16 *Resultados MAC -1 – Diseño Marshall* 69

Tabla 17 *Diseño Marshall, según sus resultados y especificaciones ideales* 74

Tabla 18 *Resultados de la adición del 1.0 % de caucho molido* 77

Tabla 19 *Resultados de la adición de caucho molido al 1.5 %* 79

Tabla 20 *Resultados de la adición de caucho molido al 2.0 % mediante el diseño Marshall*..... 81

Tabla 21 *Resultados, incorporación de caucho molido al 0%,1 %,1.5 %,2%* 86

Tabla 22 *Resistencia a la compresión diametral – Resultados*..... 87

Tabla 23 *Ensayo de cántabro en base a sus resultados* 89

Tabla 24 *Caucho molido según su estabilidad – resultados* 94

Tabla 25 *Valores estadísticos descriptivos* 95

Tabla 26 *Análisis de varianza de la estabilidad con caucho molido*..... 95

Tabla 27 *Estabilidad con caucho molido – diferencias de medias con el método Tukey* 96

Tabla 28 *Resumen del flujo de caucho molido* 97

Tabla 29 *Valores estadísticos descriptivos* 97

Tabla 30 *Análisis de varianza de flujo con caucho molido*..... 98

Tabla 31 *Flujo incorporado con caucho molido – diferencia de medias*..... 99

Tabla 32 Resultados de tracción indirecta de caucho molido 100

Tabla 33 *Valores estadísticos descriptivos* 101

Tabla 34 Análisis de varianza de TSR con caucho molido 101

Tabla 35 *Diferencias de medias de TSR con caucho molido* 102

Tabla 36 *Resultados de perdida por desgaste de caucho molido* 104

Tabla 37 *Resultados estadístico descriptivo por desgaste de caucho molido* . 104

Tabla 38 *Análisis de varianza de la perdida por desgaste con caucho molido* . 105

Tabla 39 *Diferencias de medias de perdida por desgaste de caucho molido por método Tukey*..... 106

Índice de figuras

Figura 1 *Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada* 38

Figura 2 *Esquema de gravedad específica* 40

Figura 3 MAC, mediante diagramas de compactación. 41

Figura 4 Ensayo Marshall. 45

Figura 5 *Partes de una llanta radial.* 48

Figura 6 *Agregado grueso según sus gradaciones* 60

Figura 7 *Agregado fino - Granulometría* 64

Figura 8 *Gradación de los agregados en combinación* 68

Figura 9 *%C. A con respecto al peso unitario* 70

Figura 10 *%C. A frente al % vacíos* 70

Figura 11 *%C. A frente al V.M.A* 71

Figura 12 %C. A frente al V.F.A 71

Figura 13 *%C. A con respecto al flujo* 72

Figura 14 *% C. A con respecto a la estabilidad* 72

Figura 15 *% C. A con respecto a la rigidez* 73

Figura 16 *Adicionando Caucho molido al diseño optimo* 75

Figura 17 *Briquetas Marshall sumergidas en Baño María a 60 °C.* 78

Figura 18 *Especímenes sometidos a la rotura según el equipo Marshall* 80

Figura 19 *Especímenes sometidos a la rotura con el equipo Marshall*..... 82

Figura 20 *% de caucho molido con respecto a la variación de la estabilidad*..... 83

Figura 21 *% de caucho molido frente a la variación del flujo*..... 84

Figura 22 *% de caucho molido, variación del índice de rigidez* 85

Figura 23 *Pruebas de tracción indirecta* 87

Figura 24 ITS VS %Caucho molido 88

Figura 25 *Resistencia a la tracción indirecta mediante su variabilidad*..... 88

Figura 26 *% de desgaste (ensayo de cántabro)* 90

Figura 27 *Perdida por desgastes de las muestras asfálticas.*..... 90

Figura 28 *Variabilidad de la MAC común – Según él % de desgaste*..... 91

Índice de Anexos

I. Introducción

El desgaste de las carreteras en el Perú es un problema de gran envergadura que afecta el desarrollo económico y social del país. Aquel fenómeno es provocado por diversos factores en la cual destacamos el crecimiento demográfico, la cual genera un crecimiento vehicular sobre el tráfico y los factores de carga vehicular, además de ello el uso común de utilizar muchos asfaltos tradicionales de la misma manera el no aumentar nuevas metodologías, materiales y técnicas debido a la falta de investigación que puedan mejorar sus características físicas y mecánicas de las mezclas bituminosas, diremos que los países desarrollan nuevos productos que permiten dar una mejora a las MAC, las cuales comprimen el pavimento flexible de tal manera que se puede tener infraestructura viales que cumplen en todos los requisitos y necesidades por lo que la incorporación de nuevos materiales pueden mejorar el comportamiento de una MAC siento esta una alternativa que se encuentra aún en investigación. Se presenta la tesis que tiene como fin la utilización de un material que es el caucho molido, con el objetivo de mejorar el comportamiento mecánico de las MAC tales como el flujo, la resistencia a la tracción indirecta y % de desgaste.

Esta estabilidad MAC se utiliza para pavimentar los diversos tipos de vías rurales y urbanas dotándole la durabilidad y resistencia adecuada.

Sus resultados son basados en ensayos de laboratorio de las MAC, dicha investigación contiene:

Capítulo I: Introducción, describe el contexto del estudio, los problemas de investigación, el objetivo y la justificación.

Capítulo II: El planteamiento del problema demuestra lo necesario que es incluir materiales novedosos en la construcción de carreteras, como el caucho molido, para optimizar las propiedades mecánicas de las MAC.

Capitulo III. Marco teórico, en el cual establece de manera científica y teórica las variables que serán analizadas.

Capitulo IV. Metodología, elabora enfoques metodológicos de dicha investigación, detallando el diseño de instrumentos investigativos como el tipo, nivel, diseño y metrado.

Capítulo V: Resultados y debates. Con respecto a los procedimientos de laboratorio, describe los resultados analíticos y hallazgos de las variables que se examinarán.

Capítulo VI. Se concluye, basándose principalmente en los resultados que obtuvimos en el laboratorio, que el caucho molido mejora las propiedades mecánicas de las MAC si se añade en proporciones inferiores al 1%.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y Formulación del Problema

2.1.1 Descripción

Actualmente en la las calles de Abancay se evidencia un aumento de vehículos en desuso en un 25 % así como también hubo un aumento de talleres de mecánica automotriz en las cuales estos vehículos tienen entre sus partes llantas malogradas los cuales estas ocasionan muchas veces riesgos a incendios ya que son altamente inflamables y capaces de liberar grandes cantidades de toxinas y gases nocivos como monóxido de carbono contaminando al aire, además de ello el año 2024 debido a la acumulación de llantas estancadas registraron 21 casos de dengue y zika, uno de ellos autóctono y el resto importados, en la zona de San Martín. Debido a esta situación, se declaró una emergencia sanitaria que duraría 90 días a 19 departamentos, (DIRESA, 2024).

La red vial de nuestro país está constituida por 77.687 km de infraestructura vial las cuales se categorizan en 3 clases de redes: una vecinal del (60%), departamental (19%), nacional (21%), el transporte nacional peruano no satisface las expectativas de confiabilidad y accesibilidad en el sistema de seguridad de las carreteras que toda publicación requiere. Esto se atribuye a varios parámetros, uno de los cuales es la insuficiente infraestructura. En las últimas décadas se observaron un constante desgaste de la infraestructura vial, provocando altos costos de mantenimiento, este se debe a que en las obras de pavimentos flexibles se utilizan MAC convencionales, agregando ha eso no poder aumentar materiales y metodológicas innovadoras que pueden mejorar las características mecánicas y físicas de las MAC, Según el INEI (2022).

En la ciudad imperial , los vehículos modernos se venden más, donde se categorizan unidades motorizadas pequeñas del 51.01%, unidades motorizadas livianas del 43.72% y unidades motorizadas pesadas del 3.26%, teniendo un crecimiento exponencial de manera significativa haciendo que se reporten deterioros en la carpeta asfáltica ,debido a las cargas de tráfico vehicular, mal mantenimiento de la vía,

envejecimiento del pavimento y temperatura ,como también la falta de rehabilitación de los sistemas de drenaje, disminuyendo la vida útil de las carpetas asfálticas, lo cual suelen provocar accidentes disminuyendo el confort y seguridad en la infraestructura vial. (La Republica, 2022).

Este informe fue hecho por los del comité de infraestructura vial del CIP CUSCO, las deficiencias mencionadas anteriormente se evidencian en la Av. La cultura, dichas fallas se dieron por procesos de deformidad de la estructura del pavimento flexible, donde el asfalto es de deficiente calidad, preparación de las briquetas inadecuadas en el diseño Marshall, (Automotriz, 2022, pág. 2).

A nivel internacional en España En ciertas carreteras de España, la presencia de zanjas, baches, gravilla suelta y socavones hace que el país no esté bien posicionado en lo que respecta a la preservación de su infraestructura vial. De acuerdo con un estudio reciente de la Asociación Española de la Carretera (AEC), el estado del asfalto en nuestro país es muy deficiente y, además, se ha suspendido en la conservación de las vías. Asimismo, indica que el deterioro del pavimento es la razón principal por la que el 94% de los accidentes ocurren debido a la carretera. Este organismo sostiene que uno de cada trece kilómetros de la red vial de España muestra daños significativos en más del 50% del pavimento, incluyendo hendiduras, Grietas transversales y longitudinales, así como baches. Es acerca de fallos que podrían tener un impacto negativo en la estructura de la plataforma, poniendo en riesgo la comodidad, la eficacia y la seguridad del tránsito. Por este motivo, podría ser recomendable disminuir el límite de velocidad genérico entre 10 y 20 km/h, lo que tendría un efecto sobre 6.800 kilómetros de carreteras, (Renego, 2022).

De acuerdo con una encuesta de la CNT (Confederación Nacional de Transportes) hecha en 2018 acerca del estado actual de la red nacional de carreteras, más del 50% de las vías brasileñas presentan algún tipo de discapacidad. Entre ellos, los más importantes son: fisuras, hundimientos, trincas, exudación y agujeros (también llamados ollas), que son cavidades en el revestimiento del pavimento. Estas se producen debido a un

dimensionamiento deficiente de la obra, una compactación inadecuada y un fallo en la imprimación. La investigación CNT de carreteras evaluó todos los tramos pavimentados de las carreteras federales y la mayor parte de las estatales, sumando un total de 107.161 km examinados en todo el territorio nacional. Se calcula que el estado general es aún más desolador, teniendo en cuenta que solo el 13% de las carreteras están pavimentadas y que la mayoría pertenecen a los gobiernos municipales y estatales, (Romanelli, 2021).

En el área de Abancay, desde el puente Guadalupe hasta la carretera que conduce a Andahuaylas-Lima, en su primer kilómetro, se puede ver que el estado situacional de los pavimentos flexibles las cuales son ubicadas en las calles, avenidas y vías de acceso las cuales presentan patologías de las construcciones como desprendimientos (asfalto-agregados, roderas y ahuellamiento) , fallas por fatiga (piel de cocodrilo) todas ellas conjuntamente con las lluvias provocan un deficiente comportamiento estructural en la carpeta asfáltica , reduciendo su vida útil tanto del pavimento y flujo vehicular. El no dar un mantenimiento constante de las carreteras genera peligro a los conductores elevando la probabilidad de sufrir accidentes, así como también genera problema hacia los vehículos ya que cuando las carpetas asfálticas presentan fallas estructurales se producen fallas mecánicas y costosas averías de los vehículos obligando a visitar los talleres y ocasionando gastos, (CIP APURIMAC, 2021).

En la provincia de Junín los pavimentos se determinan constantemente ya que existen algunos parámetros tanto ambientales como de diseño, a la vez no se cuentan con un mantenimiento adecuado de pavimento, cuando esta se requiere. Además, se cuenta con el aumento del tráfico vehicular donde hará que la carpeta asfáltica se desgaste más por lo que los aditivos que se suelen utilizar en estas construcciones deben aumentar su resistencia ya que el daño que sufrió el cemento asfaltico fue por la gradiente térmica siendo uno de los principales desencadenantes para una degradación prematura, (Orellana, 2019) .

2.1.2 Formulación del problema de investigación

2.1.2.1 Problema general

¿Cómo mejora las propiedades mecánicas de la MAC, en caliente modificada con caucho molido, con respecto a las propiedades mecánicas de una MAC, convencional, según el método Marshall Abancay – Apurímac 2024?

2.1.2.2 Problemas específicos

a. ¿En qué medida mejora la deformación de la MAC, en caliente modificada con caucho molido, con respecto a una MAC, convencional, mediante los parámetros del ensayo Marshall?

b. ¿De qué manera mejora la resistencia a la tracción indirecta de una MAC, que ha sido modificada con caucho molido, en comparación con una MAC, estándar, por medio del ensayo de compresión diametral?

c. ¿Cómo mejora la resistencia al desgaste de la MAC, en caliente modificado con caucho molido, con respecto a una MAC, convencional, mediante el ensayo de cántabro?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Analizar las propiedades mecánicas de la MAC, modificada con caucho molido, con respecto a las propiedades mecánicas de una MAC, convencional, según el método Marshall Abancay – Apurímac 2024

2.2.2 Objetivos específicos

a. Determinar la resistencia a la deformación de la MAC, modificada con caucho molido, con respecto a una MAC, convencional, mediante los parámetros del ensayo Marshall.
b. Evaluar la resistencia a la tracción indirecta de la MAC, modificada con caucho molido, con respecto a una MAC, convencional, por medio de la prueba de resistencia a la compresión diametral.

c. Analizar la resistencia al desgaste de la MAC, modificado con caucho molido, con respecto a una MAC, convencional, mediante el ensayo de cántabro.

2.3 Justificación e importancia

2.3.1 Justificación

Se demuestra teóricamente porque busca examinar el desempeño de la combinación asfáltica en caliente a través de la adición de caucho molido, un elemento que aún no ha sido ampliamente investigado y que, según los resultados obtenidos, podría utilizarse como una estrategia para prolongar la durabilidad de las capas asfálticas.

Se justifica socialmente ya que al incorporar caucho molido a las mezclas asfálticas en caliente evitarán tempranamente la generación de ahuellamiento y baches, disgregación lo cual reducirán los gastos de refracción de los móviles, beneficiando a los conductores y evitando accidentes en los tramos de la carretera km 0+00 hasta el km 1+00 PE - 3S intersección con Av. Villasol.

Se justifica económicamente ya que daremos un aprovechamiento del caucho molido, ya que en la mayoría de casos es utilizado como maceteros ocasionando focos infecciosos como el dengue o el zika o lo usan como medios de protestas mediante el quemado de las llantas ocasionando contaminación del aire y muchas se degradan en el suelo provocando contaminación del suelo. Estos estudios harán que las llantas que se desecharon sirven para ser aplicadas como aditivos, con el fin de optimizar el comportamiento MAC, en caliente reduciendo los costos de producción del pavimiento, en la que también existe otros tipos de aditivos químicos como las fibras, nano sílice y otros que son muy costosos.

2.3.2.Importancia

Es importante porque aportará al conocimiento ya existente acerca del uso eficiente y aprovechamiento de materiales de la zona que son utilizados en la construcción de carreteras y plantas de asfalto en caliente con el objetivo de alargar la vida útil de las carpetas asfálticas. El caucho molido incrementa la estabilidad del asfalto, su incorporación

reduce la formación de fisuras debido a variaciones de temperatura y ciclos de carga, prolongando la duración funcional del pavimento ayuda que la MAC resiste mejor el envejecimiento y la oxidación manteniendo sus propiedades durante más tiempo, disminuyendo los desechos de neumaticos. Promoviendo practicas constructivas de mayor sostenibilidad. Además de ello la presente investigación permitirá incentivar la generación de MAC adicionadas con caucho molido en el Perú, donde se reflejarán mejores características físicas de durabilidad bajo diversos factores sometidos a las carpetas asfálticas tales como vehículos de alto tonelaje, incremento del eje de vehículos, aumento de los neumáticos mediante sus presiones y los ambientes en condiciones adversas.

2.4 Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Las propiedades mecánicas de la MAC, modificada con caucho molido mejoran, con respecto a las propiedades mecánicas de una MAC, convencional Abancay-Apurímac 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

a. La resistencia a la deformación de la MAC, modificado con caucho molido mejora con respecto a una MAC. Convencional, mediante los parámetros del ensayo Marshall.
b. La resistencia a la tracción indirecta de la MAC, modificado con caucho molido mejora con respecto a una MAC, convencional, mediante el ensayo de la resistencia a la compresión diametral.
c. La resistencia al desgaste de la MAC, modificado con caucho molido mejora con respecto a una MAC, Convencional, mediante el ensayo de cántabro.

2.5. Variables

Este autor conceptualiza la operacionalización que consiste en una serie de procedimientos mediante las cuales existe una vinculación de ciertas variables con el propósito de asignarles un significado a estas para después ser medidas mediante algunos procedimientos al ser medidas, dichas variables son modificadas unas a otras de manera

empírica, tomando en cuenta que una dimensión será estimada como una variable de un indicador como un indicio, este como una señal de medida facilitando es estudio de la variable con sus dimensiones, (Arias, 2006).

- Variable 1: propiedades mecánicas de una MAC, convencional.
- Variable 2: propiedades mecánicas de una MAC, modificada con caucho.

Tabla 1

Operacionalización de variable 1

VARIABLE 1	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	HERRAMIENTAS
Propiedades mecánicas de una MAC, convencional	Para la evaluación de las características mecánicas de la MAC, se miden por sus propiedades, las MAC en caliente trabajan bien cuando son diseñados bajo estándares de calidad, tomando en cuenta los ensayos previos, además de diversas propiedades que contribuirán a la calidad de las carpetas asfálticas, en la que se incluirán análisis granulométrico, durabilidad, resistencia e impermeabilidad. (Instituto del asfalto, 2020)	Para determinar las características mecánicas de las MAC se utilizarán ensayos previos tales como índice de rigidez, estabilidad y flujo, resistencia al desgaste, tracción indirecta y porcentaje de desgastes.	Resistencia a la deformación	Estabilidad	Deformación	Kg/cm	Formatos	MTC E 504 manual de ensayos de materiales
				Flujo		mm	Formatos	
				Índice de rigidez		Kg/cm	Formatos	
			Resistencia a la tracción indirecta	Resistencia a la tracción indirecta	Rotura por esfuerzo a la tensión	Kg/cm2	Formatos	NLT-346/90 a resistencia compresión diametral (ensayo brasileño)
			Resistencia al desgaste	% de pérdida de masa asfáltica por desgaste	% de desgaste	%	Formatos	MTC E 515 manual de ensayos de materiales
Adición de caucho molido	(Ribeiro, T.2011). El caucho molido producto que se deriva del reciclado de las llantas de los camiones y automóviles, durante el reciclaje se extrae todo el material de las llantas retirando los alambres y suciedad.	Se necesita únicamente preparar el caucho molido, pesarlo para cada ensayo y expresarlo en %.	Efecto del caucho granular	Porcentaje (%) (peso en función de los agregados)	0 %	%	Formatos	Ordinal
					1%			
					1.5 %			
					2 %			

Nota: (Cañari, 2019)

Tabla 2

Operacionalización de variable 2

VARIABLE 2	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES O NIVEL	INDICADORES	INDICES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	HERRAMIENTAS
Propiedades mecánicas de la MAC, modificada con caucho molido	Para la evaluación de las características mecánicas de la MAC, se miden por sus propiedades, las MAC en caliente trabajan bien cuando son diseñados bajo estándares de calidad, tomando en cuenta los ensayos previos, además de diversas propiedades que contribuirán a la calidad de las carpetas asfálticas, en la que se incluirán análisis granulométrico, durabilidad, resistencia e impermeabilidad. (Instituto del asfalto, 2020)	Para determinar las características mecánicas de las MAC se utilizarán ensayos previos tales como índice de rigidez, estabilidad y flujo, resistencia al desgaste, tracción indirecta y porcentaje de desgastes.	Resistencia a la deformación	Estabilidad	Deformación	Kg/cm	Formatos	MTC E 504 manual de ensayos de materiales
				Flujo		mm	Formatos	
				Índice de rigidez		Kg/cm	Formatos	
			Resistencia a la tracción indirecta	Resistencia a la tracción indirecta	Rotura por esfuerzo a la tensión	Kg/cm2	Formatos	NLT-346/90 a resistencia compresión diametral (ensayo brasileño)
			Resistencia al desgaste	% de pérdida de masa asfáltica por desgaste	% de desgaste	%	Formatos	MTC E 515 manual de ensayos de materiales

Nota: (Cañari, 2019)

III. Marco Teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Se Realizaron estudios donde su objetivo principal fue ajustar la rigidez mejorando sus características reológicas, químicas y mecánicas de las MAC convencionales, tomando en cuenta la resistencia de forma mecánica bajo cargas monotónicas, módulos resilientes y de deformaciones permanentes cuando son modificadas con desechos de policloruro de vinilo mediante vía húmeda, tuvo una evaluación de 23 meses, donde se determinó la influencia del PVC con mezclas asfálticas en Bogotá. La población fue de 48 testigos y el muestreo fue no probabilístico. La metodología investigada es deductivo, experimental, descriptivo, con cohortes de causa – efecto se utilizó como instrumentos de recolección de datos fichas de laboratorio basados en las normas. **AASHTO T 378** – “Standard Method of Test for Determining the Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA. Se obtuvo como resultados para el ensayo de módulo resiliente (350,450,1000,1500,2000) Mpa. Se concluye que la resistencia mecánica asfáltica convencional es superior a la resistencia a la MAC, modificada. En general las carpetas asfálticas convencionales desarrollan procesos de endurecimiento por envejecimiento mucho más rápido a comparación de las carpetas asfáltica modificadas con PVC, en la que en los primeros 18 meses a las que son expuestas su rigidez tiende a disminuir por efectos de micro – fisuración térmica, (Rondon, 2021) .

El objetivo de este estudio fue analizar el desempeño de sus características mecánicas - físicas mediante distintas pruebas de laboratorio adicionando cuero de bota militar y materiales de caucho. Para la población se tomó una muestra de 100 testigos, el muestreo fue no probabilístico, como muestras se tuvo que requerir cien testigos en la cual cada uno de ellos pesaba aproximadamente 1230 gramos, donde los % óptimos de asfalto fueron de 5.5%, donde cada lote de muestras tuvo adiciones de asfalto con porcentajes del 4.5%, 5%, 5.5% y por último un 6%,los instrumentos utilizados fueron el manual de ensayo

de materiales mediante fichas de ensayos de laboratorio basados en la normativa MTC E 504,NLT- 346/90,MTC E 515 , se obtuvo como principales resultados para los ensayos de estabilidad y flujo (1095.67;1094.89;824.89;467.90) kg/cm y para los ensayos de tracción indirecta (7.1,7.8,6.8,6.1) Mpa . Las metodologías que se emplearan corresponden a un diseño experimental, nivel relacional y enfoque cuantitativo, en la cual se concluye que la fluidez se incrementa cuando se le adiciona mayor cantidad de caucho debido a sus características de este material flexible, considerado como polímero, donde la fluidez de la mezcla aumenta de manera gradual en un 8. 7% al adicionar desde el 1% hasta el 8% presentaron datos muy dispersos con respecto a los patrones comunes, talvez una de las razones se deba a que se adiciona pequeños % de este aditivo. Estos elastómeros no suelen modificar proporciones considerables según a sus resultados, resultando la estabilidad de la MAC, una constante en cuanto a su incremento, deduciendo que la resistencia a la deformación es alta en cuanto al sometimiento de cargas, (Clavijo, 2019) .

Realizo un estudio donde el objetivo fue optimizar el comportamiento mecánico de las MAC destinada a las carpetas asfálticas garantizando su resistencia de las mismas, La población que se utilizo fue de 24 testigos donde se añadieron cemento asfaltico con variaciones entre el 4%hasta el 6.5%, después se modificó el asfalto con poliestireno donde se hicieron 24 testigos donde el muestreo fue no probabilístico, se añadieron cemento asfaltico con variaciones entre el 4 % hasta el 6.5 % ,después se modificó el asfalto con poliestireno donde se hicieron 12 testigos, la modificación con poliestireno se hizo por el método de la vía húmeda con % que varían entre el 0.5% hasta el 1.5%. La metodología tuvo como enfoque cuantitativo, método deductivo y orientación aplicada. El poliestireno se obtuvo triturando plásticos desechables, considerando como no biodegradables para obtener los % óptimos de asfalto se utilizó la metodología Marshall, para el envejecimiento se tomó en cuenta al comportamiento dinámico realizando los ensayos de fatiga trapezoidal con temperaturas desde 25 – 35°c con deformaciones de 90 – 10 – 5, 155x 10 – 5 y 225x 10 – 6m, el ahuellamiento tuvo cargas de hasta 14 toneladas en cuanto al módulo dinámico

presento temperaturas de 15°c hasta 32°c con frecuencias de 3.0 hasta 15 H2. Donde los resultados que se obtuvieron se compararon con una MAC patrón, finalmente se concluye que hubo una reducción del 50%. Según la deformación plástica al haber un flujo vehicular con 13 toneladas, en cuanto a la estabilidad la MAC, mantiene un flujo constante, (Figueroa, 2019) .

3.1.2 A nivel nacional

El propósito de este estudio fue desarrollar una combinación asfáltica SMA con fibra y ceniza de bagazo de caña de azúcar, con el objetivo de potenciar su rendimiento mecánico, a través de ensayos de laboratorio, La MAC incluye 54 especímenes en su población, SMA y la muestra está distribuida por 27 especímenes, El enfoque de investigación es deductivo, de naturaleza cuantitativa, con un tipo de compensación, un nivel de explicación y un diseño experimental. Los hallazgos muestran una granulometría discontinua, un 7% de asfalto, un 0,3% de fibra y un 6% de ceniza del bagazo de caña de azúcar produce menos escurrimiento, más flujo, menos estabilidad, menor adherencia, más formación permanente y un módulo de resistencia a la mezcla más bajo. No obstante, debido a que no la contiene en su composición, la ceniza de bagazo de caña de azúcar no puede reemplazar a la cal hidratada para el relleno de la mezcla, (Bravo, 2021).

El objetivo de este estudio fue analizar las propiedades mecánicas de una MAC sometida a alta temperatura cuando se le incorpora fibras de polipropileno, donde se utilizó una metodología deductiva, orientada a la aplicación con enfoque cuantitativo, el enfoque de la investigación es de nivel explicativo y relacional , su diseño es longitudinal y prospectivo, al incorporar 0.2 % de fibras de polipropileno estas tienen un impacto significativo en las propiedades de las mezclas de asfalto caliente, donde hubo un aumento del 22 % según su estabilidad , el TSR aumento en un 41.3 % , el % de desgaste disminuyo en -5.27 % .Finalmente se concluye que al incorporar fibras de polipropileno al 0.2 % estas mejoran sus propiedades mecánicas, (Cañari, 2019).

Esta investigación fue realizada con el objetivo de analizar cómo la mezcla se comporta mecánicamente al añadir granos de caucho, asfáltica modificada usando el método de vía seca. En comparación con la MAC, convencional, en este análisis se utilizó un grupo que incluía tanto la MAC, convencional como la modificada por medio de distintos niveles de inclusión de caucho. La población y el muestreo fue no probabilístico donde se compone de 132 muestras a distintas temperaturas de 150°C a 0 h y 2 h, 160°C,170°C,180°C en 2 h, con % de caucho de 1.0,1.5,2 % de caucho granular. El método utilizado fue de diseño experimental, enfoque cuantitativo, orientación aplicada y nivel relacional , los instrumentos utilizados fueron el manual de ensayo de materiales mediante fichas de ensayos de laboratorio basados en la normativa MTC E 504,NLT- 346/90,MTC E 515 , en la cual nos dios como resultados valores de estabilidad de 1776,1495,1407,1242 kg, y los valores de flujo de 4,15,4,49,4,50 y 4,52 mm. Finalmente se concluye que la adición ideal de caucho granular es del 1%, pues mejoran sus características en términos de estabilidad, flujo, tracción indirecta y porcentaje de desgaste. Por otro lado, la adición del 1.5%,2% de caucho granular disminuye sus propiedades mecánicas y se encuentra más allá de los límites establecidos, (Granados J. , 2017).

3.1.3 A nivel regional y local

El propósito principal era establecer el impacto del TiO2 en diferentes % evaluando el comportamiento fotocatalítico y mecánico de la mezcla de asfalto en caliente con agregados de Abancay. La población se compone de la MAC, común y la modificado con TiO2. La suma total de muestras se compone de 72 tipos de asfalto en común, El tipo de estudio es correlacional, la etapa de estudio es explicativa, el enfoque es deductivo, el diseño es experimental. El contenido ideal de asfalto es del 5.95 %, la estabilidad en el 0%,3%,5%,7% fue de (1379.20,1423.9,1281.20,1800.81) kg; el flujo fue de (3.95,5.4,7,4,7.43) mm, La resistencia a la tracción indirecta alcanzó los (14.50,15.83,8.33,19.57) kg/cm2, la resistencia al desgaste alcanzó los valores de (-6.48,-7.68,-7.83,-17.32) %, el nivel de autolimpieza a través del ensayo de rodamina con R26

alcanzó los (12.645,55.532,56.517,56.604%). Finalmente, se deduce que la adición del 3%,5% de TiO2 mejora el comportamiento de una MAC, (Zaga, 2024).

3.2 Bases Teóricas

3.2.1. Asfalto

Es aquel material aglutinante que tiene una variación entre los colores marrón oscuro tendiendo a negro, la cual se constituye especialmente por betún la cual son originales de manera que el material cuyo proceso para obtenerlo es del refine del petróleo. La proporción del asfalto es variable, mayormente la que es proveniente del petróleo crudo, (Instituto del asfalto, 2020).

3.2.2. Mezclas asfálticas en caliente

Las MAC son combinaciones de agregados pétreos que se aglomeran entre ellos en la cual interviene ligantes asfalticos, en la que los agregados son cubiertos por películas de asfalto provocando que se forme homogéneamente un material resistente, el ligante del asfalto, los agregados pétreos sometidos a temperaturas dan 150°C a más hacen que sea considerado una mezcla asfáltica. Las MAC generante tiene un rango de 92 a 98 % de agregados pétreos -7 a 4% de ligante asfaltico con relación del peso bruto de las mezclas, (Granados, 2017).

3.2.3. Características de la MAC, en caliente

Las MAC generalmente son distinguidas por el agregado mineral (VMA), densidad de vacíos con aire (VA), con proporciones de liante asfaltico, los cuales serán evaluados como influenciadores en su comportamiento mecánico (Yepez, 2021)

A. Densidad de la mezcla.

Es el volumen especifico entre el peso de la mezcla la cual es uno de los factores primordiales para que se pueda diseñar una respectiva mezcla en la que su uso principal es controlar la compactación que se hace en campo. Donde los proyectos primeramente elaboran especificaciones técnicas y después su densidad del pavimento flexible, después

del compactado donde la densidad obtenida se basa en porcentaje que se obtuvieron en laboratorio (Boza, 2019)

B. Vacíos de aire.

Se denomina al aire encerrado de una mezcla bituminosa en la que se encuentra espacio vacío después de la compactación, si es menor los % de vacíos de aire entonces la mezcla tendera hacer menos permeable. Los vacíos de aire al momento que se diseñan las mezclas asfálticas convencionales en un laboratorio están arrojan valores entre el 3.5 al 5% como máximo, en cuanto a los resultados en campo no se admite la obtención de vacío que son mayores al 9%, haciendo que la compactación sea adecuada cuando haya mayores cargas de tránsito. (Boza, 2019)

C. Vacíos en el agregado mineral (VMA).

Son los vacíos de aire que se encuentra dentro de un volumen, así mismo la película asfáltica tiende a rodear los agregados pétreos, si él % de VMA es mayor entonces la película asfáltica es mayor dándole recubrimiento a la partícula del agregado haciendo la mezcla que tiende a durar más, si la película asfáltica es más delgada, entonces la MAC, dejaría de ser expuesta a los procesos de oxidación (Boza, 2019)

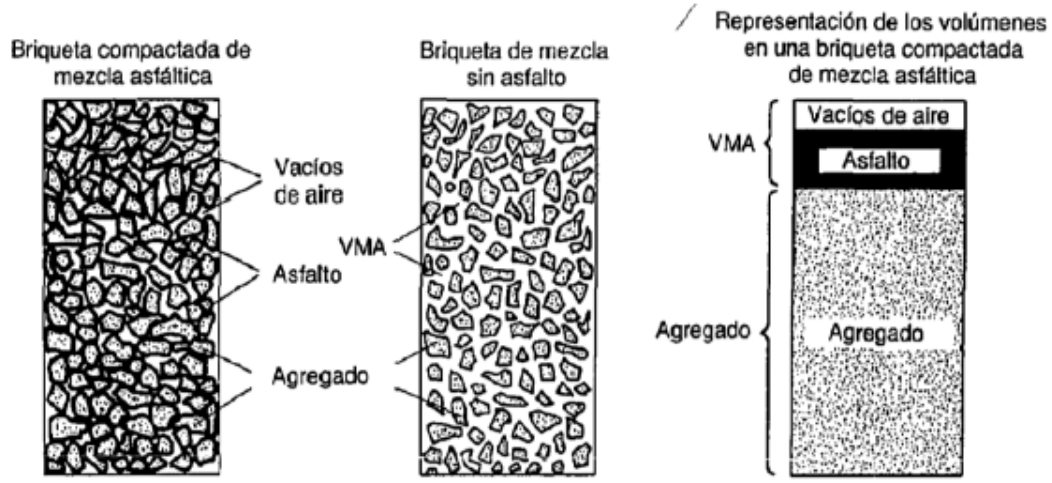
Cuando el agregado sufre un aumento en su densidad entonces se llega a presentar valores mínimos del VMA, según las especificaciones con la finalidad de ahorrar el contenido del bitumen asfaltico, las películas asfálticas y mezclas presentan apariencias secas, podrían ser perniciosas incumbiendo la calidad del pavimento flexible (Boza, 2019)

D. Contenido de asfalto.

Es la capacitad cubica de asfalto la cual es expresado en % en la que es adicionado a una mezcla bituminosa, la cual se ejecuta en un laboratorio, en la cual uno fracción de la capacidad cubica de este se absorbe por los agregados, mientras tanto la otra parte formara películas recubriendo a la parte molecular del agregado (Boza, 2019)

Figura 1

Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada



Nota: en la figura se muestra el pavimento asfalticos basados en diseños modernos. Elaborado por Ordoñez y Minaya 006.ISG.

La proporción o el % de agregados que se van a añadir a una MAC, dependen de realizar ensayos previos como granulometría del agregado, capacidad absorbente, debido a que el análisis granulométrico se relaciona directamente con los contenidos óptimos de un asfalto a diferentes proporciones. Según la gradación cuando contengan mayor cantidad de partículas finas habrá mayor área de superficie total con tendencia a que se requerirá más cantidad de un bitumen asfaltico necesario para dar una cobertura uniforme en todas sus moléculas. (Instituto del asfalto, 2020)

3.2.4. Parámetros volumétricos de la MAC.

Los parámetros mediante sus formas volumétricas, son factores de una mezcla en la que se consideran los comportamientos de una MAC, en la que dependen en gran parte de su diseño y los ensayos previos que se hicieron antes.

Los equilibrios volumétricos de los bitúmenes asfalticos se basan en cálculos analíticos con el fin de que tengan un buen funcionamiento. (Instituto del asfalto, 2020)

3.2.5. Generalidades sobre el agregado

Los agregados pétreos son materias porosas la cual tiene la capacidad de embeber materia liquida (asfalto o agua) en cantidades variables con cada molécula a la que están compuestas, donde se dan tres metodologías para la obtención de un material según su densidad relativa y en su estado natural se basan en:

3.2.5.1. Gravedad neta especifica (Gsb)

Es aquel material absorbente considerando el peso del aire, donde se incluye vacíos impermeables y permeables tomando en cuenta temperaturas que se alinean a los estándares permitidos incluyéndose a los vacíos permeables sobre los agregados volumétricos. (Instituto del asfalto, 2020)

3.2.5.2. Gravedad aparente específica (Gsa).

Es la relación volumétrica de los agregados incluyéndose los vacíos impermeables con relación al peso del aire donde se incorporan espacios porosos del bitumen asfaltico.

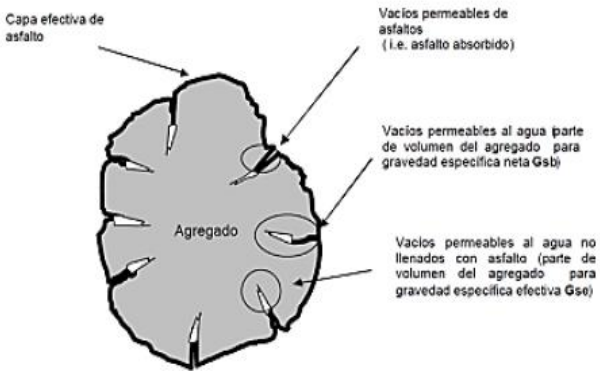
3.2.5.3. Como explicación de manera sencilla se muestra la siguiente figura.

a) Gravedad específica efectiva (Gse)

Es aquel material permeable con peso en el aire con la inclusión de poros capaces de absorber asfalto, encima de los vacíos permeables volumétricos que no pudieron absorber los asfaltos.

Figura 2

Esquema de gravedad específica



Nota: en la figura se muestra los volúmenes que entran en los cálculos de las densidades de un agregado. Extraído de (Adauto, 2022),

b) Vacíos en el agregado mineral (Vma).

Es el espacio vacío que se da entre las moléculas de los agregados cuando se compacta una mezcla en la que está comprendido entre los vacíos del aire hacia el asfalto contenido, las cuales se denotan con porcentajes de la muestra total del volumen**.** (Instituto del asfalto, 2020)**.**

c) Contenido de asfalto efectivo (Pbe).

Se diferencia como el asfalto absorbente de la grava en porcentaje entre el asfalto bruto de la MAC, basado en su contenido.

d) Vacíos de aire (Va).

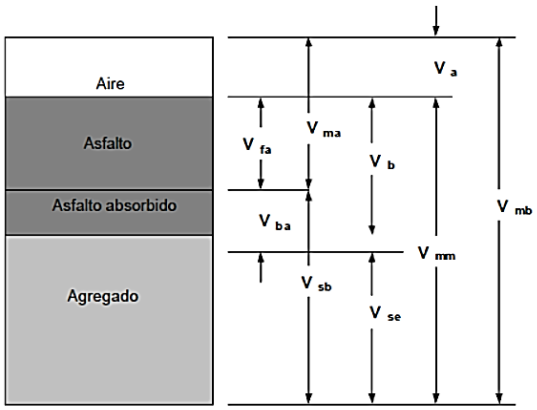
Es el porcentaje volumétrico neto de una mezcla asfáltica, donde los volúmenes totales de vacíos se generan a partir de las gravas que son cubiertos por MAC compactados.

e) Vacíos llenos con asfalto (Vfa).

Es un fragmento del volumen de un determinado espacio intergranular donde el asfalto efectivo ocupa las partículas del agregado, donde se expresa como la relación entre (Vma-va) /Vam.

Figura 3

MAC, mediante diagramas de compactación.



V_{ma} = volumen de vacíos en agregado mineral
V_{mb} = volumen total de la mezcla asfáltica
V_{mm} = volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos
V_{fa} = volumen de vacíos llenados con asfalto
V_{a} = volumen de vacíos de aire
V_{b} = volumen de asfalto
V_{ba} = volumen de asfalto absorbido
V_{sb} = volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa)
V_{se} = volumen de agregado mineral (gravedad específica efectiva)

Nota: en la figura se muestran los volúmenes que se usaran en la prueba de MAC, diagrama de compactación. Extraído de (Boza, 2019, pág. 52).

Serán destinados más adelante a la combinación de las MAC, mediante distintas clases de husos especificados en el número 1 de la tabla, que serán colocados de forma alterna donde se emplearán rangos especificados según (Instituto del asfalto, 2020). Según este instituto el tipo de gradaciones serán categorizadas o llamadas gradaciones compactas.

Tabla 3

Mezclas asfálticas en caliente según sus gradaciones

Tamiz	Mac- 01	Porcentaje que pasa MAC-02	Mac-03
25,0 mm (1'')	100		
19,0 mm (3/4'')	80-100	100	
12,5 mm (1/2'')	67-85	89-100	
9,5 mm (3/8'')	60-77	70-88	100
4,75 mm (Nº 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (Nº10)	29-45	38-52	43-61
425 um (Nº 40'')	14-25	17-28	16-29
180 um (Nº 80'')	8-17	8-17	9-19
75 um (Nº 200'')	4-8	4-8	5-10

Nota: en la tabla se muestra MAC, según sus gradaciones. Fuente: Recopilado de la (EG 2. , 2013).

Las gráficas semilogarítmicas se usan en los usos de la granulometría donde en las ordenadas podemos encontrar los % de los agregados que pasan por diversos tamices según su TMN de un agregado, al otro lado en el eje x se encuentran las abscisas, donde las aberturas son graficadas de manera logarítmica

Los prototipos de las MAC densos o cerrados son enfocados en base a indicadores que son las líneas de control (inferior y superior) y el tamaño nominal de los materiales. Donde las líneas que controlan son puntos que van de paso para una curva que se hará para la granulometría. (Boza, 2019).

3.2.6. Las propiedades de las MAC, en base a ensayos a utilizar

A. Técnica convencional de diseño de mezclas asfálticas mediante el ensayo Marshall

Este método tiene como primer paso planificar y compactar las muestras, las cuales tendrán como fin la pavimentación donde las probetas según su altura tendrán 63 mm y según su diámetro tendrán 62 mm donde presentarán diferentes comportamientos. Cuando se varían sus parámetros mediante la guía Marshall.

Para un correcto diseño de una MAC, primeramente, seleccionamos los agregados mediante un análisis granulométrico a diferentes % del asfalto, las cuales son obtenidas en laboratorio conservando sus mismas propiedades para después ser puestos en terreno definitivo, el % de asfalto optimo se dosifica de acuerdo a la combinación de agregados y su diseño respectivo. (MTCE 504, 2016)

B. Deformación de MAC, según su comportamiento en base a su resistencia.

La deformabilidad de las MAC se determina por su resistencia, tomando en cuenta una serie de procedimientos según él (MTCE 504, 2016),en la que se prepara y compacta las probetas de la MAC de un pavimento flexible, una vez diseñado la MAC, determinamos los parámetros basándonos según la manera que se comportan, donde se toma en cuenta la fluidez, la estabilidad entre otros parámetros cuyos pasos son los siguientes:

Preparativos de los agregados pétreos: Estos primeramente se secarán donde el horno vario a temperaturas de 106°C a 110°C. seguidamente se separan los materiales pétreos mediante lo tamices de acuerdo a requerimiento deseado.

La temperatura de compactación con al que se mezclara tiene una secuencia de pasos que se establece según los ítems 6.1.2 del (MTCE 504, 2016).

- Preparativo de una mezcla: Los preparativos de una mezcla se hace según pasos especificados, compactándolo y mezclando según la normativa (MTCE 504, 2016).
- Compactación de los especímenes: Los procesos que se hacen para compactar los moldes y hacen utilizando el martillo Marshall siendo este de material de acero en la que se forma una base circular plana de 97.3 mm (3 6/8”) de diámetro cuyo equipamiento tienen pesos de 4.53 kilogramos (11 lb) con caída de 453.1 mm (17”), en la que las probetas son compactadas a 77 golpes por todas sus caras.

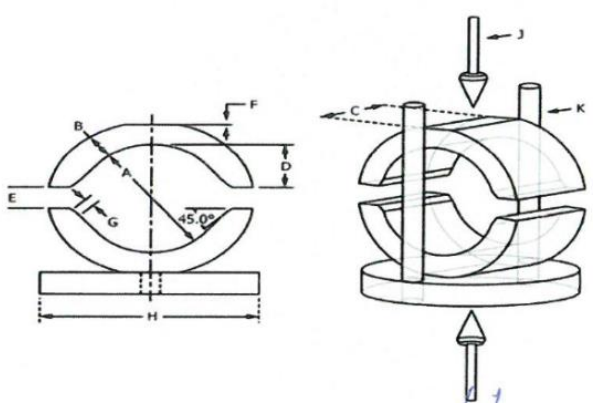
Ensayo de estabilidad y flujo: Suelen ser 2 de las principales propiedades basadas en el método Marshall de diseños de asfalto a la que se evaluaron, donde la estabilidad determina la deformación en base a su resistencia máxima con razones continuas de carga a 60 mm/min, donde la fluidez son propiedades basadas en deformar una mezcla asfáltica. (MTCE 504, 2016)

C. Precauciones

Ubique las briquetas correctamente sobre el cabezal Marshall, garantizando que estén bien encajadas en la mordaza y que el peso de las briquetas esté repartido por todo su cuerpo.

Figura 4

Ensayo Marshall.



Nota: la figura, es utilizado en la ingeniería civil para el diseño y control de calidad de mezclas asfálticas utilizadas en la construcción de carreteras y pavimentos. Tomada de (Zaga, 2024)

Cálculos

Se mide directamente la estabilidad de la resistencia, que es la máxima carga que soportan los especímenes en la transición de los ensayos, hasta el momento en que las briquetas se rompen o fallan.

Donde:

R: Estabilidad (kg)

Para determinar la deformabilidad, se mide el flujo o la deformación de las briquetas cuando se evalúa la estabilidad, las fallas en las briquetas van de punto en punto hasta que falle la carga aplicada en un momento determinado.

E = estabilidad (mm, o plg).

D. Compresión diametral mediante el ensayo de Resistencia

Implica generar deformaciones aplicada de manera diametral con testigos cilíndricos de las MAC, lo cual este ensayo permite caracterizar a la mezcla determinando distintos parámetros, y por otro lado se optimiza el contenido asfaltico, determinando su cohesión y el esfuerzo cortante en base a su resistencia. Este ensayo se aplica para las

MAC que son producidas en una planta asfáltica para su respectivo control de obra. Los pasos de estos ensayos están regidos bajo la normativa NLT -346-90 conocida como el ensayo brasileño ((NLT-346/90, 1990).

E. Método y secuencia del ensayo a la tracción indirecta de MAC.

La tracción indirecta de las mezclas bituminosas se hace con fines de pavimentar las carreteras basándose en la normativa (NLT-346/90, 1990) ensayo brasileño de las mezclas con bitumen.

Los procedimientos de los ensayos consiste en colocar una probeta en forma de cilindro la cual se fabricó por procedimientos definidos para la prueba Marshall en la que se tuvo dimensiones de 62.5 mm de altura y 102.6 mm, aplicando cargas generatrices o puestas la cuales se repetirán cuando sea necesario provocando tracciones relativas uniformes por esfuerzos en toda la carga vertical del plano según a su diámetro , esta falla de la probeta es de tipo tracción y desata roturas diametralmente según al plano

Para este tipo de procedimiento se aplica el equipo Marshall, aplicando cuyas que tengan deformaciones con velocidades de 50.7mm/min equipados a su vez con el cabezal Lottman, (NLT-346/90, 1990)

F. Para la tracción indirecta se utiliza fórmulas matemáticas como:

$$Rt = \frac{2P}{\pi dh} \qquad (1)$$

Donde:

Rt = Resistencia a compresión diametral, Mpa.

P = Carga máxima de rotura, N.

d = Diámetro de la probeta, mm.

h = Altura de la probeta, mm.

G. Ensayo de Cántabro

Es aquel ensayo que cuantifica los valores por perdida del desgaste, lo cual se adquiere un fatigamiento mediante la prueba de los Ángeles. Donde se aplica para gradaciones abiertas o mezclas con poros, donde los agregados tienen tamaños máximos nominales de 25 mm, donde los ensayos previos al Marshall, se determinan por el desgaste y la cohesión, disgregándose de las MAC con cargas abrasivas produciéndose cargas puntuales por sus ejes en forma equivalente.

3.2.7. Caucho de llantas recicladas

3.2.7.1. Definición

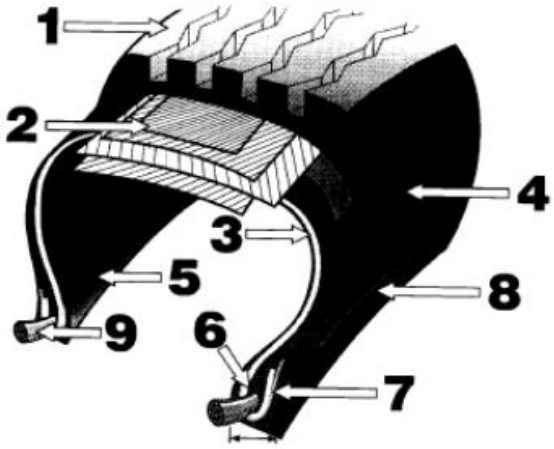
Es uno de los residuos más abundantes en el país, derivado del caucho sintético y natural. Carrizales (2015). Asimismo, dada la comprobación de los miles de usuarios de vehículos que por consiguiente llama a la concientización de desecho indiscriminado de este residuo con grandes propiedades mecánicas. (Soto, 2023)

3.2.7.2. Composición física

Las llantas de vehículos neumáticos varían dependiendo del tipo de automóvil, Pero su composición es normalmente estándar hablando de la fabricación, materias primas y capas que hacen que su adherencia en la carpeta de rodadura sea la mejor. Por ello, esta está compuesta por, (Soto, 2023).

Figura 5

Partes de una llanta radial.



Nota: se muestran los siguientes componentes: 1. Banda de Rodamiento en la superficie: Generalmente hecha de caucho en toda la transición de su diámetro. 2. Compuesta por acero proporciona estabilidad a la banda de rodamiento. 3. Compuesta por la forma circular de la rueda ayuda a transmitir las cargas horizontales al pavimento de manera homogénea. 4. Compuesta netamente de caucho, trabaja a la flexión. 5. Capa interior que reviste el cinturón cuando la llanta no lleva cámara. 6.Piezas de caucho que se usan para llenar espacios vacíos entre la ceja y el lado inferior de la pared. 7. Capa de caucho que va por encima de la capa radial. Estabiliza el lado de las cejas de la llanta y constituye alambres de refuerzo. Tomada de (Granados, 2017).

3.2.7.3. Composición Química

Las llantas neumáticas están constituidas por caucho natural y derivado de hidrocarburos (caucho sintético), el cual conforma una combinación que atrae un mejor comportamiento del producto ante las exigencias de las autopistas. Asimismo, los llamados derivados de hidrocarburos son elastómeros compuestos de butadieno y estireno, todos estos compuestos forman parte de la llanta automotriz. (Soto, 2023)

3.3. Definición de términos

3.3.1. Abrasión

Se refiere al deterioro en forma mecánica que se da en las rocas y agregados producto del impacto o fricción. (MTC E 515, 2016)

3.3.2. Propiedades mecánicas

Se refiere cuando un determinado material réplica al producto de las fuerzas actuantes sobre él. Este tipo de propiedades son de vital importancia a la hora de clasificar un material apto para las diversas obras de construcción ya que se determina diversos comportamientos en distintas condiciones y cargas, (Paye, 2017, pág. 21) .

3.3.3. Asfalto

Es aquel material cementico cuyo color vario de oscuro marrón a negro, cuyo componente principal son los betunes obtenidos mediante refinado de crudo del petróleo. Este asfalto es encontrado en diferentes fracciones de forma variable en su mayoría del petróleo crudo, (Instituto del asfalto, 2020).

3.3.4. Mezcla asfáltica en caliente

Es aquella que contiene materiales gruesos y finos combinadas con asfalto y en su mayoría de los casos se adicionan aditivos de acuerdo a sus especificaciones técnicas o diseño. Además de ello su función principal es formar parte de las capas estructurales del pavimento y servir como capa de rodadura, (Rosales, 2022) .

3.3.5. Estabilidad o Resistencia a la deformación permanente

Es la capacidad de una mezcla bituminosa previamente compactada con el fin de poder aguantar cargas forzadas por el flujo de vehicular sin que se ocasionen distorsiones en forma permanente. Este atributo depende en forma principal de la cohesión friccionada internamente que se dan de partículas por partículas entre los agregados, (Padilla, 2019, pág. 52).

3.3.6. Deformación plástica de las MAC, en base a su resistencia

Este ensayo estipula la distorsión plástica según a su resistencia de las MAC, donde se obtendrán las muestras para finalmente hacer la ruptura de probetas utilizando el equipo Marshall, (Padilla, 2019, pág. 54).

3.3.7. Grava

Son materiales pétreos triturados cuyo origen son del llamado canto rodado donde son obtenidos del machacado de los cantos rodados en la que se utiliza chancadoras con cabezal cónico. El canto rodado son rocas en forma lisa y redondeada que fueron desgastadas en forma natural por distintos agentes como el agua y otros agentes atmosféricos al paso del tiempo (Martinez, 2009)

3.3.8. Caucho molido

Este material se produce al triturar neumaticos y llantas las cuales se componen principalmente de caucho natural de forma sintética, que están compuesto de textiles y elementos altamente contaminantes y moléculas ferromagnéticas. (Granados J. , 2017)

3.3.9. Daño por humedad inducida

La humedad inducida es una de las causas predominantes las cuales afecta a las mezclas asfálticas a cuanto a su durabilidad. (Lopez, 2019).

3.3.10. Flujo

Las cargas empiezan a descender en este momento, al deformarse de forma vertical las probetas, las cuales están sometidas a cargas máximas. Estos valores indican que las carpetas asfálticas están sometidas a un tráfico vehicular y tienden a deformarse (Bravo, 2021)

3.3.11. Estabilidad

Es cuando la carpeta asfáltica tiene la capacidad de resistir deformaciones y desplazamientos bajo las cargas que se le aplican. Una carpeta asfáltica es inmutable si puede conservar su superficie plana a pesar de la repetición de las cargas. Las cargas de

asfalto inestables provocan la aparición de ondulaciones (corrugación) y ahuellamiento. (Bravo, 2021)

3.3.12. Adición

Agregar o integrar algo de tal modo que se conviertan en un conjunto uniforme. (Adauto, 2019)

IV. Metodología

4.1 Tipo y Nivel de investigación

4.1.1. Tipo de Investigación

La investigación será de tipo Aplicada debido a que verificará el grado de mejora del caucho molido en distintos % en cuanto al comportamiento de las mezclas asfálticas.

La investigación será correlacional cuando exista una relación entre las variables, proporcionando un razonamiento y una explicación de dicha conexión, con el propósito de entenderlas y plantear una hipótesis. Según (Hernandez M. , 2014) .

4.1.2. Nivel de investigación

Según mi investigación fue de nivel relacionar en la que se evaluó el grado de la asociación de las variables, mezclas asfálticas adicionada con caucho medido en distintos porcentajes 1%, 1.5%,2% con respecto a sus propiedades mecánicas.

Según (Hernandez S. , 2014). Dichas investigaciones tienen en propósito de saber el grado de asociación o relación que se da entre dos a más variables, categorías de una muestra en particular.

4.1.3. Diseño de investigación

Es experimental, siendo la decisión acerca de cómo ejecutaremos nuestra observación. Esto supone definir las variables a observar y la relación entre los componentes. (Llopis, 2020)

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Temporal

Esta tesis se efectuó entre los meses de julio hasta octubre del año 2024.

4.2.2 Espacial

Esta tesis se efectuó en la localidad de Abancay, particularmente con su material agregado de la cantera Avendaño Casinchihua.

4.3 Población y muestra

4.3.1. Población

La población está constituida por 36 especímenes de asfalto producidas con PEN 60/70 tuvo como propósito investigar a la MAC que fue modificada adicionando caucho y las MAC convencionales. (Baptista, 2010). Es la concentración de un sinfín de elementos las cuales comparten características de un determinado lugar en la que se desea investigar cuyo fin es juntar varias datas específicas.

Se define como la concentración de todos los componentes con características que pertenecen a una zona específica que queremos investigar para compilar datos de manera concreta, (Baptista, 2010) .

4.3.2. Muestra

Se utilizará muestras basadas en conveniencia aplicando un enfoque no probabilístico, siendo escogidas 36 testigos de MAC a juicio del investigador para poder determinar las propiedades de la resistencia al desgaste, resistencia a la tracción indirecta, resistencia a la deformación adicionando caucho molido al 1%,1.5%, 2% (Hernandez & Sampieri , 2001).

El muestreo no probabilístico es un método para seleccionar muestras en el que los tesistas escogen a los testigos de manera preseleccionada, basándose en juicios subjetivos en lugar de una selección aleatoria, (Hernandez & Sampieri , 2001).

Tabla 4

Prueba Marshall (MTCE 504, 2016)

MAC, con adición	% Caucho molido				Cantidad de especímenes
	0%	1%	1.5%	2%	
Ensayo Marshall	3	3	3	3	12

Nota: en la tabla se muestra la prueba de Marshall descrita anteriormente. Dicha prueba describe el porcentaje utilizado para los ensayos. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5

Prueba de tracción indirecta (NLT-346/90, 1990)

MAC, con adición	% Caucho molido				Cantidad de especímenes
	0%	1%	1.5%	2%	
TSR	3	3	3	3	12

Nota: en la tabla se muestra la prueba de tracción descrita anteriormente. Dicha prueba describe el porcentaje utilizado para los ensayos. Fuente: elaboración propia

Tabla 6

Ensayo de cántabro (MTC E 515, 2016)

MAC, con adición	% Caucho molido				Cantidad de especímenes
	0%	1%	1.5%	2%	
Perdida por desgaste	3	3	3	3	12

Nota: en la tabla se muestra la prueba de cántabro descrita anteriormente. Dicha prueba describe el porcentaje utilizado para los ensayos. Fuente: elaboración propia

4.4. Instrumentos

La importancia de que la recopilación de datos se realice de manera muy planificada y dirigida a la acumulación de datos para fines concretos.

La recopilación de datos se llevará a cabo utilizando formatos y fichas, según lo establecido por él (MTCE 504, 2016). Se recogerán los datos primarios, que tienen sus propios formatos determinados por las regulaciones nacionales e internacionales, (Baptista, 2010).

4.5. Procedimiento estadístico

Existen diversas formas de pruebas de hipótesis estadística. Utilizamos la prueba ANOVA (análisis de varianza) para determinar que las variables independientes (añadir caucho molido en un 0%, 1%, 1.5% o 2%) tienen un impacto significativo en las mezclas asfálticas al calentarse, según sus Características mecánicas. llevaremos a cabo cálculos estadísticos conforme a los requisitos de diseño de tal probabilidad que niega que la hipótesis sea mínima o inalcanzable. Si la significancia es alta, se empleará la parte estadística utilizando técnicas de Tukey. Gracias a estos dos procedimientos y al nivel de

confianza y los grados de libertad, es posible determinar a través de cálculos estadísticos cuán significativas son las diferencias, (Calle, 2012).

4.6. Análisis de datos

Se menciona que el análisis de datos implica el uso de métodos estadísticas que permiten interpretar y extraer conclusiones a partir de una muestra o población. En esta investigación, la información será procesada a través gráficas y tablas de estadísticas empleando el programa Excel, lo que contribuirá a un mejor entendimiento de los resultados en relación con los objetivos establecidos.

4.7. Consideraciones éticas

La UTEA establece que la privacidad, los derechos y el prestigio de los participantes en una investigación deben ser salvaguardados y no replicados de acuerdo con la ética moral establecida por la legislación nacional. Teniendo en cuenta las normas que regulan los derechos de propiedad intelectual, (Utea, 2021).

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Ensayo Marshall de MAC, prueba de resistencia a la deformación

Tabla 7

Cemento asfaltico PEN 60/70 – Especificaciones técnicas.

Ensayos	Método AST/MTC	UND.	Especificación Mín.	Máx.	Resultado
Penetración	D-5 / E304	Mm	60	70	61
Ductibilidad a 25 C°	D-113/ E3061	Cm	100	-	>105
Punto de inflamación	D-92/E312	°C	232	-	279.0
Solubilidad en tricloroetileno		%	99	-	99.89
Punto de ablandamiento	D-36	-	-	-	51.3
Viscosidad cinemática a 100 °C	D-445	cSt	-	-	4917
Viscosidad cinemática a 135 °C	D-2170	cSt	200	-	533
Perdida por calentamiento	D-1754	%	-	0.8	0.26
Ensayo de la mancha	AAHSTOT 102	-	-	-	20 %

Nota: en la tabla se muestra el cemento asfaltico – basado del reporte analítico de Repsol. El cemento asfaltico a usar fue el PEN 60/70, con procedencia de la refinería Repsol. En el cuadro siguiente se muestra sus especificaciones técnicas. *Fuente: elaboración propia.*

- **Agregados**

Lo primero que hicimos es diseñar la MAC, haciendo una selección de agregados finos y grava triturada con procedencia de la cantera de gravas y agregado Avendaño, después se hicieron ensayos de caracterización a los agregados en un laboratorio externo que contaba con todos los equipos calibrados.

Los agregados tanto grueso y fino que vamos a caracterizar deben cumplir con los estándares fijados según la (EG 2. , 2022)

Tabla 8

Parámetros para el agregado grueso

	Norma		Requerimiento
Ensayos	MTC	ASTM AAHSTO	≤ 3000 (msnm)
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 Total.	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	ASTM C 118	1.0% máx.

Nota: en la tabla se muestra los parámetros para el agregado gruesos proceden de la concretera y planta de asfaltos de la cantera Casinchihua denominada Avendaño la cual tritura 100 % de la grava, *(EG 2. , 2022)*. Fuente: elaboración propia.

Tabla 9

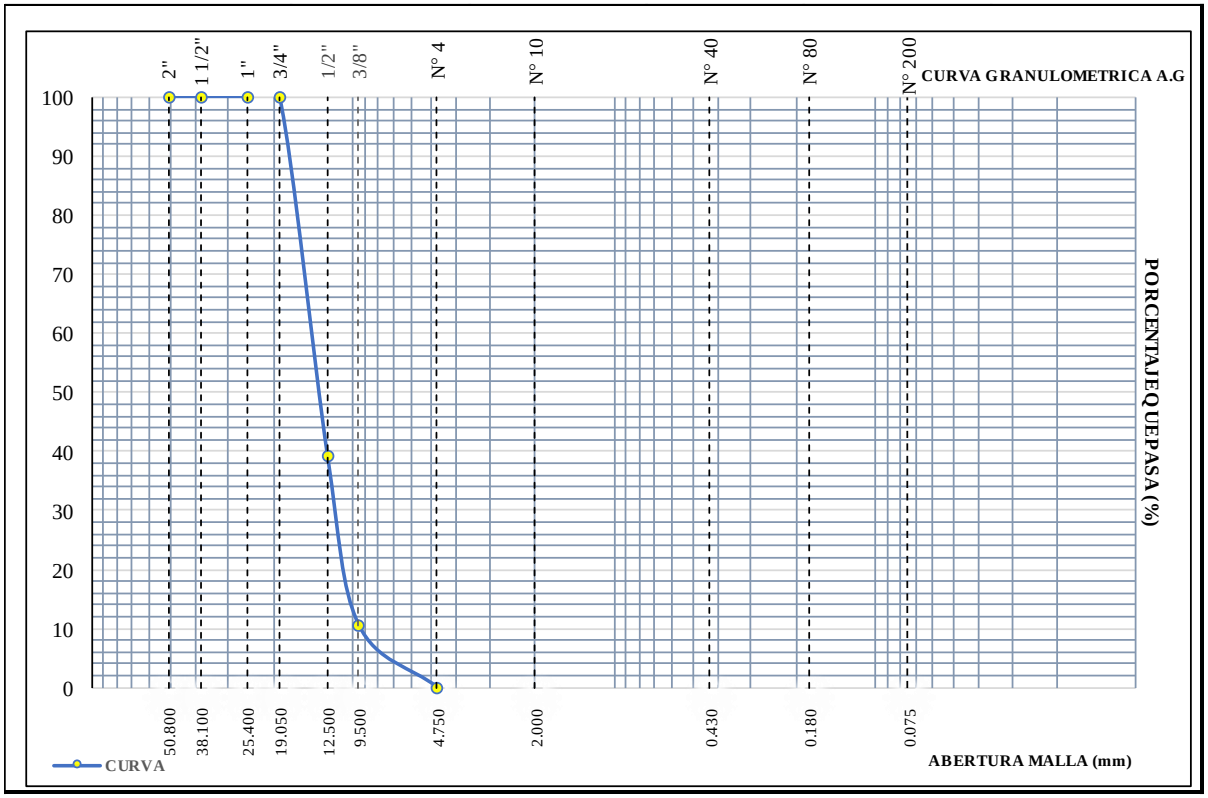
Agregado grueso -Tamaño máximo ¾”

Tamiz		PESO	%RET. PARC.	%RET. ACUM.	% PASA
ASTM	mm	RET.			
¾”	19.050	0.00	0.00	0.00	100.0
½”	12.70	1264.50	60.7	60.7	39.3
3/8”	9.50	598.60	28.7	89.4	11.0
# 4	4.75	221.70	10.6	100.0	
# 10	2.00				
# 40	0.43				
FONDO	0.00	0.00	0.00	100.0	0.0
TOTAL		2084.80	100.00		

Nota: en la tabla se muestra las pruebas granulométrico según reporte de laboratorio para ver el tamiz de los materiales para ajustarnos el ensayo. Fuente: elaboración propia.

Figura 6

Agregado grueso según sus gradaciones



Nota: en la figura se muestra la gráfica correspondiente a las pruebas anteriores. Tomada de laboratorio Conchipa

Tabla 10

Caracterización del agregado grueso

Ensayo	Norma	Requerimiento	Resultado	Rango de aceptación
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% Max	13.73	Si cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% Max.	21.80	Si cumple
Adherencia	MTC E 517	+95	+96	Si cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	--	--
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	10% Max.	7.9	Si cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	87/58.3	Si cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% Max.	--	--
Absorción	MTC E 206	1.0% Max.	0.50	Si cumple

Nota: en la tabla se muestra el reporte granulometría según su análisis donde se describe los resultados de acuerdo a la granulometría para ver si el agregado es apto o no para la prueba. Fuente: elaboración propia.

Tabla 11

Parámetros para el agregado fino

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM - AAHSTO	≤ 3000 (msnm)
Equivalente de arena	MTC E 114	ASTM 2419	60% min.
Angularidad del agregado fino	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: en la tabla podemos observar los parámetros de agregados finos, son procedentes de la planta asfáltica y chancadora de agregados de Casinchihua, la cual la arena es triturada al 100 %. Fuente: (EG 2. , 2022). Fuente: elaboración propia

Tabla 12

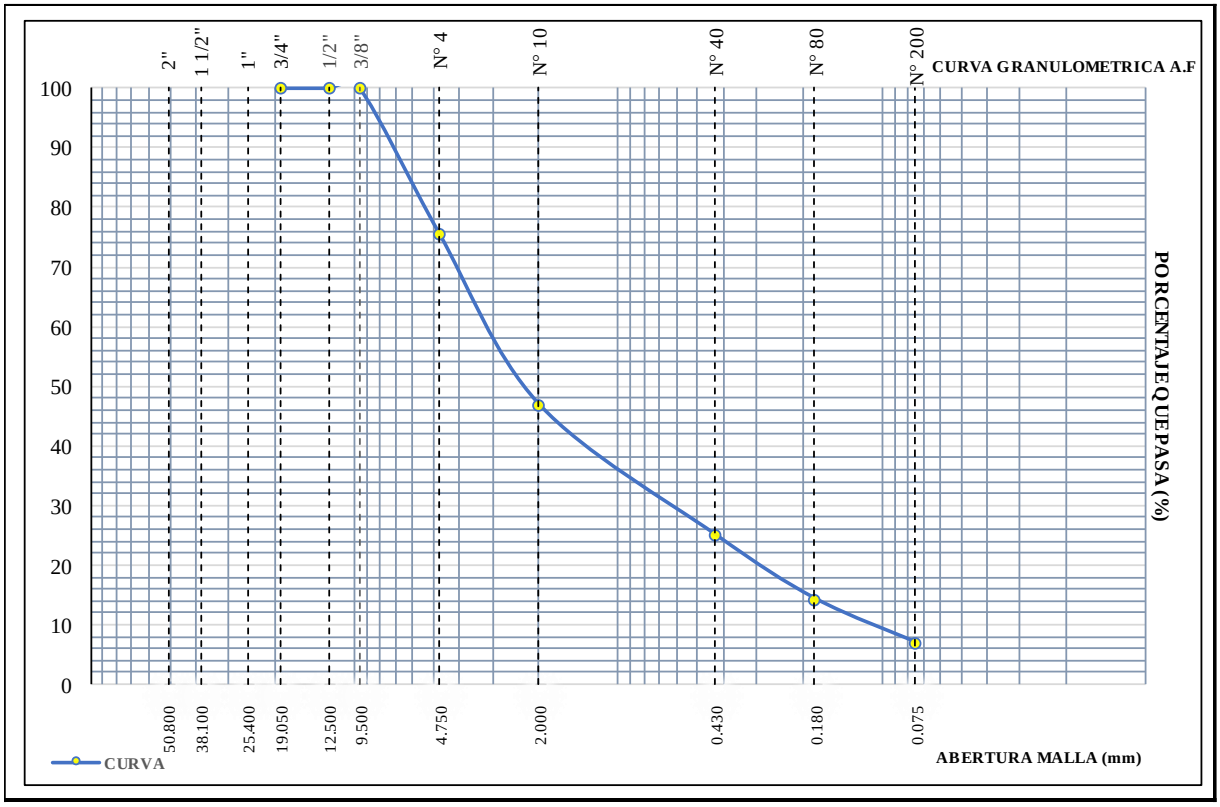
Gradación del agregado fino

Tamiz		PESO	%RET. PARC.	%RET. ACUM.	% PASA
ASTM	mm	RET.			
3/8”	9.50	0.00	0.00	0.00	100.0
# 4	4.75	450	24.4	24.4	75.62
# 10	2.00	528.00	28.6	53.0	47.02
# 40	0.43	405.00	21.9	74.9	25.08
# 80	0.18	199.00	10.8	85.7	14.30
# 200	0.075	135.00	7.3	93.0	6.99
FONDO	0.00	129.00	7.0	100.0	
TOTAL		1846.00	100.00		

Nota: en la tabla se muestra la gradación del agregado fino, el tamiz necesario para distribuir los tamaños de los agregados para seleccionar de cara a las pruebas correspondientes. Fuente: elaboración propia

Figura 7

Agregado fino - Granulometría



Nota: en la figura se puede observar su granulometría del agregado fino propia elaboración según data. Tomada de laboratorio Conchipa.

Tabla 13

Rango de aceptabilidad de los agregados finos.

Ensayo	Norma	Requerimiento	Resultado	Rango de aceptación
Equivalente de arena	MTC E 114	600% min.	80	Si cumple
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	300% min.	55.5	Si cumple
Índice de plasticidad (malla Nº. 40)	MTC E 111	N.P.	N.P.	Si cumple
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	2.3	Si cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% min.	--	--
Índice de plasticidad (malla Nº. 200)	MTC E 111	40% máx.	N.P.	Si cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.50% máx.	--	--
Absorción **	MTC E 205	1.00% máx.	0.50	Si cumple

Nota: en la tabla se muestran un resumen de los rangos de aceptación de acuerdos con las normas técnicas. Es un reporte de granulometría según su análisis. Fuente: elaboración propia.

Tabla 14

Huso MAC – 1 Según la dosificación de agregados mediante %

Agregados	%
Grava chancada < ¾” – ½ - Cantera Avendaño	35.00%
Arena chancada < 3/8” - Cantera Avendaño	65.00%
Total	100.00%

Nota: en la tabla se muestra las distintas cantidades de agregado para el diseño de MAC, se usó la combinación de agregados, MAC 1, con disposición de cemento asfaltico PEN 60/70, dosificando de la siguiente manera. Fuente: elaboración propia.

La cantidad ideal de asfalto según lo indicado por los gráficos de diseño de laboratorio. Son del 5 % con agregados de la cantera Avendaño, los porcentajes de vacíos se encuentran establecidos según norma en valores del 5 %.

La combinación teórica tiene valores óptimos, donde la mezcla tiene una combinación física con proporciones de diseño en función a sus agregados con asfalto óptimo, donde se tienen los siguientes resultados.

Tabla 15

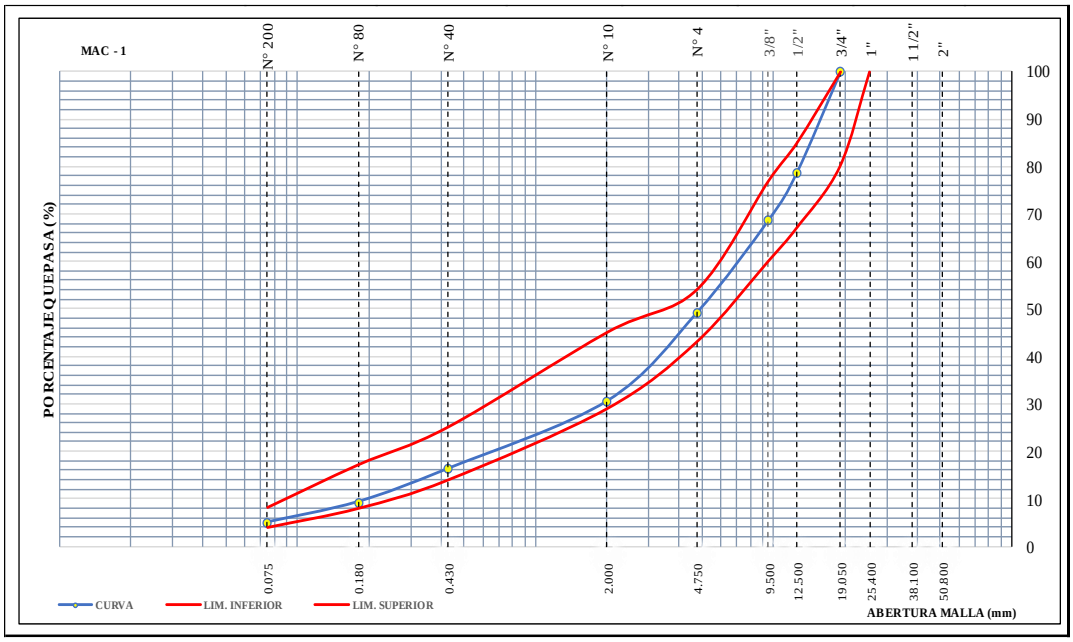
Combinación optima de agregados según MAC – 1

		Grava chancada	Arena chancada				
				Mezcla MAC - 1			
	Tamiz	Vía de evitamiento		Comb.			CHEQUEO
		< ¾”	< 3/8”	Teórica	Huso MAC – 1		
		35.00%	65.00%				
1”	25.40	100.00	100.00	100.00	100	100	OK
¾”	19.05	100.00	100.00	100.00	80	100	OK
½”	12.50	39.3	100.00	78.8	67	85	OK
3/8”	9.50	10.6	100.00	68.7	60	77	OK
# 4	4.75	0.00	75.62	49.2	43	54	OK
# 10	2.00	0.00	47.02	30.6	29	45	OK
# 40	0.43	0.00	25.08	16.3	14	25	OK
# 80	0.18	0.00	14.30	9.3	8	17	OK
# 200	0.075	0.00	6.99	5.0	4	8	OK

Nota: en la tabla muestra las distintas combinaciones de agregado para el diseño de la muestra asfáltica en caliente. Fuente: elaboración propia.

Figura 8

Gradación de los agregados en combinación



Nota: en la figura muestra las curvas granulométricas entre los usos del diseño MAC-1, cumpliendo los parámetros que se establecieron. Elaboración propia según los datos de laboratorio. Tomada de laboratorio Conchipa

5.1.2. Metodología de las mezclas con asfalto según diseño mediante el ensayo Marshall

Según (EG 2. , 2022). Lo que es la resistencia de una MAC se emplea mediante un equipo Marshall, determinando los requerimientos normados estableciendo el óptimo contenido de asfalto.

El asfalto optimo varia en % que empiezan desde el 4.0, 4.5 %,5.0 % ,5.5 %,6.0 %,6.5 %,7.0 %, donde la probeta será hecha según el manual del EG -2013, donde la probeta será hecha según el manual del EG-2013, donde la data que se obtuvo de los ensayos se contempla en la tabla N°18.

Tabla 16

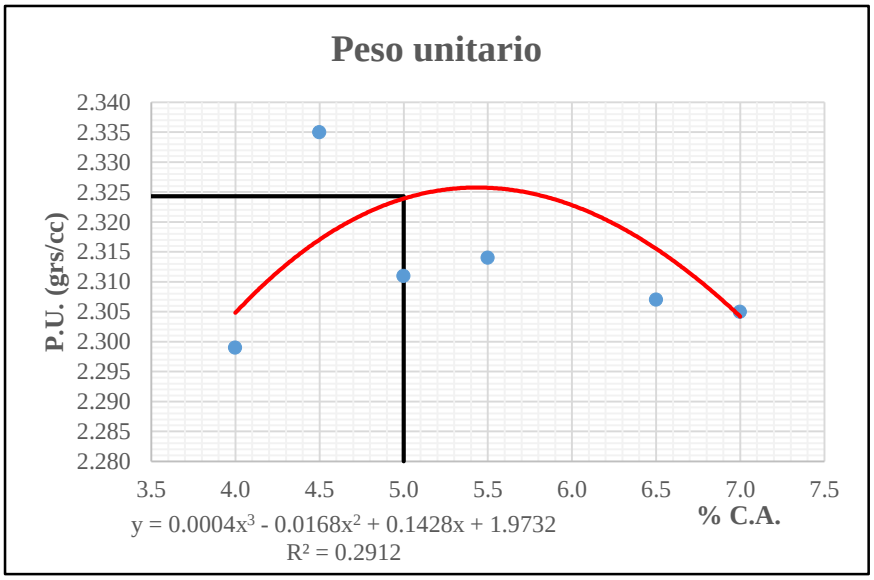
Resultados MAC -1 – Diseño Marshall

Parámetro	Und.	Resultados obtenidos						
PEN 60/70	%	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
P. unitario	gr/c.c.	2.299	2.335	2.311	2.314	2.343	2.307	2.305
Vacíos	%	8.81	6.90	4.80	5.10	5.90	6.80	6.70
V.M. A	%	19.80	20.82	20.40	22.0	22.50	24.00	24.50
V.F. A	%	54.98	62.03	76.80	75.20	73.20	74.30	74.00
Flujo	Mm	2.70	2.40	4.50	4.60	4.65	4.55	4.60
Estabilidad	Kg	852.4	851.11	1407.7	1497.2	1497.0	1010.0	1315.0
Índice de rigidez	Kg/cm	4000	3520.0	3595.0	3110.0	3300.0	3250.0	2100.0

Nota: en la tabla se observa los resultados de la prueba diseño marshall, los gráficos describen los criterios del ensayo Marshall, donde dan los valores de una MAC en común: según su índice de rigidez, estabilidad, flujo, peso unitario y V.M.A según la figura del 6 al 15 visualmente en la siguiente figura. Fuente: elaboración propia

Figura 9

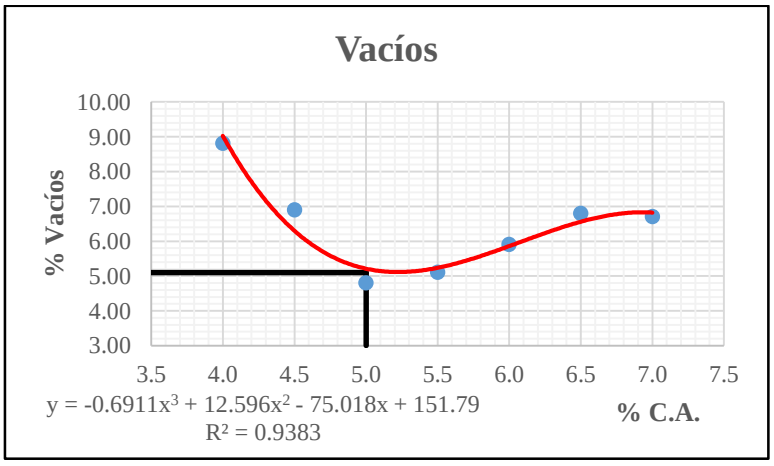
%C. A con respecto al peso unitario



Nota: en la figura se muestra la curva con su respecto peso unitario para comprobar el desgaste utilizando el diseño Marshall – informe. Tomada de laboratorio Conchipa

Figura 10

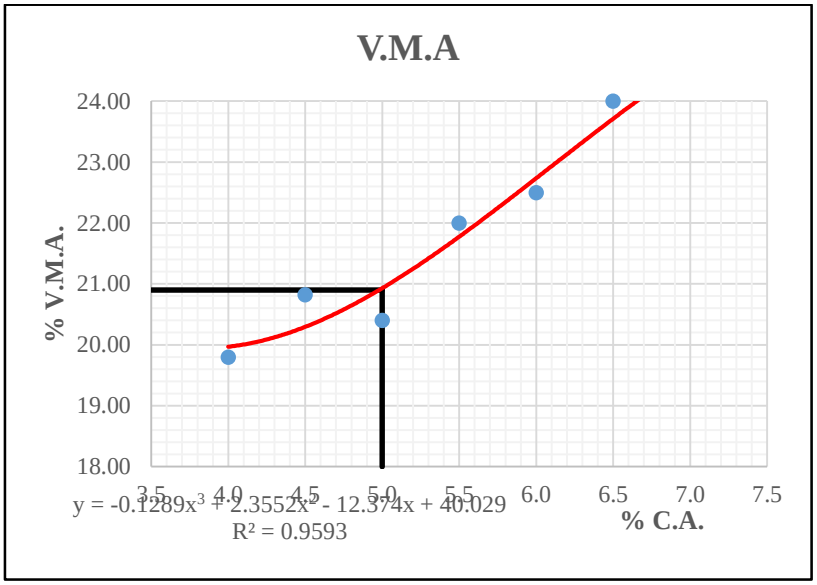
%C. A frente al % vacíos



Nota: en la figura se muestra la curva con su respecto peso unitario para comprobar el desgaste utilizando el diseño Marshall – informe. Tomada de laboratorio Conchipa

Figura 11

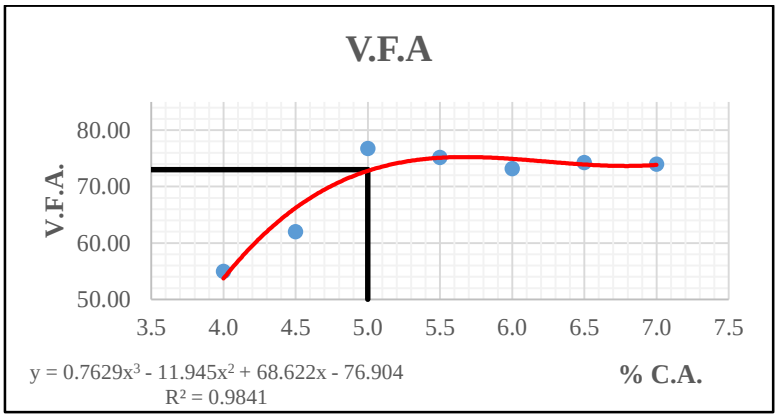
%C. A frente al V.M.A



Nota: en la figura se muestra la curva con su respecto peso unitario para comprobar el desgaste utilizando el diseño Marshall – informe. Tomada de laboratorio Conchipa.

Figura 12

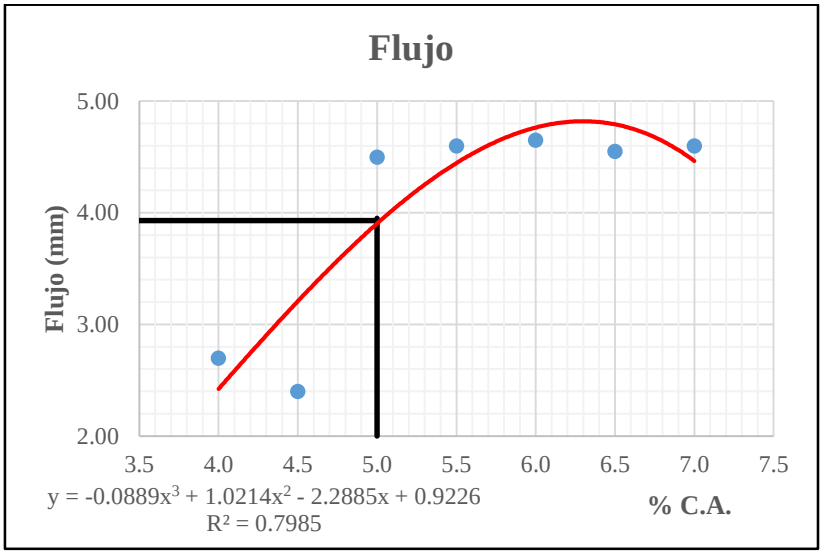
%C. A frente al V.F.A



Nota: en la figura se muestra la curva con su respecto peso unitario para comprobar el desgaste utilizando el diseño Marshall – informe. Tomada de laboratorio Conchipa.

Figura 13

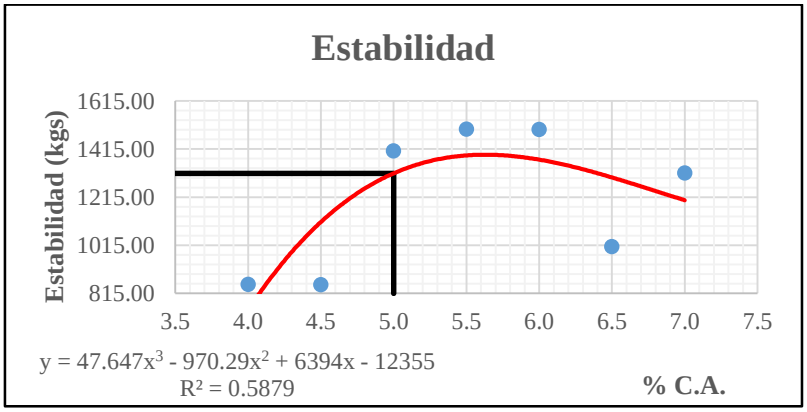
%C. A con respecto al flujo



Nota: en la figura se muestra la curva con su respecto flujo para comprobar el desgaste utilizando el diseño Marshall – informe. Tomada de laboratorio Conchipa

Figura 14

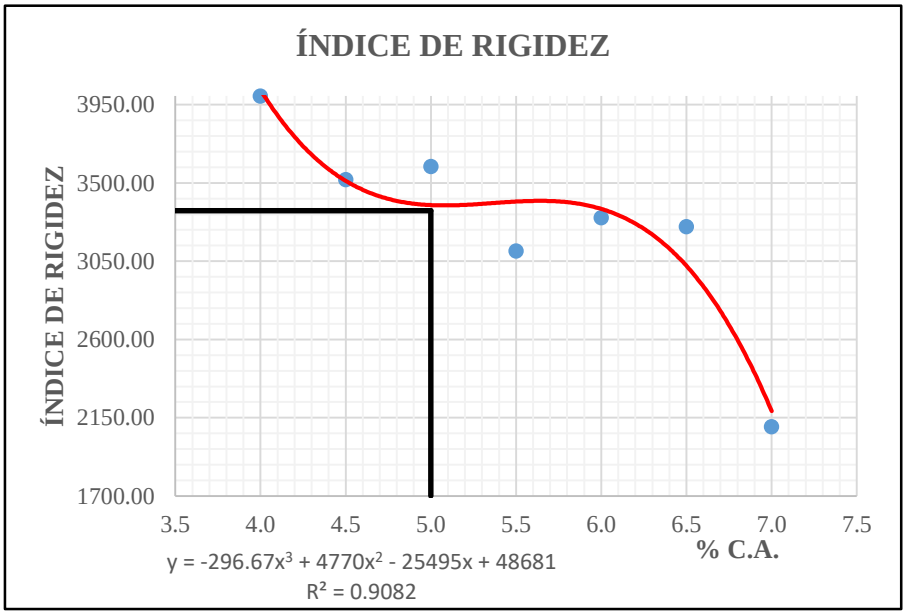
% C. A con respecto a la estabilidad



Nota: en la figura se muestra la curva con su respecto peso unitario para comprobar el desgaste utilizando el diseño Marshall – informe. Tomada de laboratorio Conchipa

Figura 15

% C. A con respecto a la rigidez



Nota: en la figura se muestra el diseño Marshall – informe, Para la MAC, optima, se estipula primeramente trazando tangentes hacia las curvas polinómicas de 3er grado, trazando una recta tangente hasta él % C.A. Tomada de laboratorio Conchipa.

Los parámetros que se obtuvieron son el índice de rigidez, el % de vacíos, V.M.A, V.F.A, peso unitario, índice de rigidez, estabilidad y flujo todos ellos normados por el EG - 2013, visualizándose en la tabla número 15.

Tabla 17

Diseño Marshall, según sus resultados y especificaciones ideales

Resumen de resultados				
Descripción	Und.	Optimo % C. A	Especificaciones	Cumple
Golpes por lado	und	75	75	SI
Cemento asfaltico	%	5.0	Optimo	SI
Peso unitario	gr/cm3	2.32	-	SI
Vacíos	%	5.0	3% - 5%	SI
V.M. A	%	20.98	Min 14	SI
V.F. A	%	73.0	-	SI
Flujo	mm	3.96	2 - 4	SI
Estabilidad	kg	1315.0	Min 815	SI
Índice de rigidez	kg/cm	3300	1700 – 4000	SI

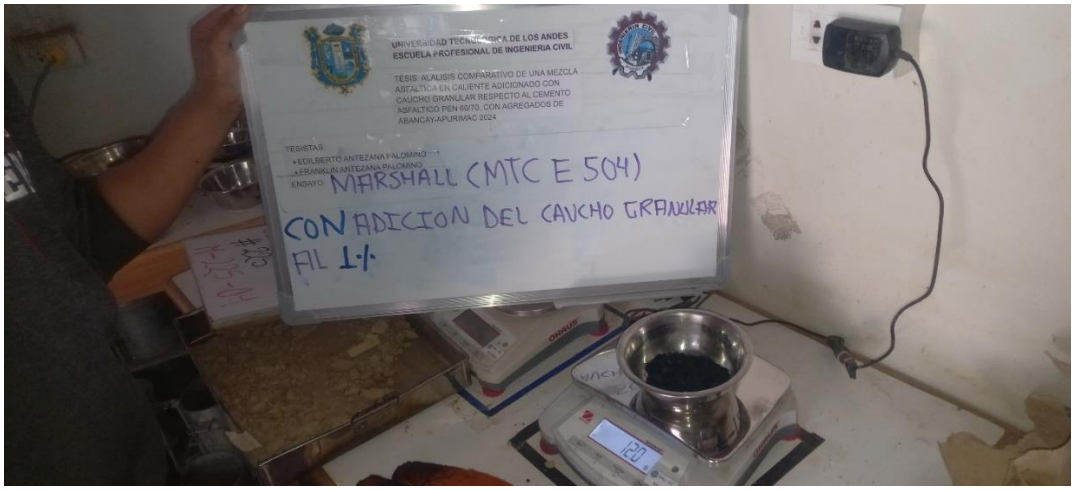
Nota: en la tabla se detalla el informe de resultados con el diseño Marshall – elaborado propiamente. Elaboración propia según los datos de laboratorio. Fuente: elaboración propia

5.1.3. Procedimiento de diseño Marshall de una Mac convencional modificada con caucho molido

Para diseñar las MAC usamos la normativa MTC E 504, según el manual de carreteras EG2013, según la secuencia de pasos y requerimientos establecidos para poder determinar el % óptimo de asfalto.

Figura 16

Adicionando Caucho molido al diseño optimo



Nota: en la figura observamos el procedimiento donde se prepara especímenes de MAC convencionales mediante la incorporación de caucho triturado. Tomada de laboratorio Conchipa.

5.1.3.1. Se sigue un procedimiento adecuado para elaborar probetas Marshall.

- Primeramente, se establece los % de caucho molido con relación a la carga total reemplazando los agregados finos con temperaturas que van desde 120 – 150 °C.
- Los AG y AF se combinan según la proporción ideal de asfalto, donde él %C. A fue del 5.0 %, donde se hizo el reemplazo del aditivo con el agregado fino logrando proporciones adecuadas compactando a una sola temperatura.
- Los moldes se calientan en una sartén conjuntamente con los agregados a una temperatura entre los 80°C
- Una vez calentados los agregados adicionamos el aditivo TiO2, mezclando lentamente hasta que se adhiera mayor a un 95 %
- Vertimos el cemento asfaltico a la mezcla ya mencionada logrando una adherencia completa del agregado – aditivo y cemento asfaltico.

- Vertimos la MAC, en los moldes del pedestal a temperaturas de 150 °C y con una espátula limpiamos para que no haya desperdicios compactamos a 75 golpes ambas caras cada muestra.
- Los especímenes ya compactados se mantendrán en los moldes hasta poder alcanzar la temperatura del ambiente, finalmente se agarra la gata extractora y se retira las muestras de los moldes Marshall.

5.1.3.2. Contenido ideal de caucho molido vs la proporción ideal de asfalto según el diseño Marshall

Según él (MTCE 504, 2016) y la (EG 2. , 2022), la proporción adecuada de asfalto diseñamos las mezclas con adiciones del 1%,1.5 % ,2 % de caucho molido, proporciones optimas del 5.0 % de asfalto.

5.1.3.3. MAC, con 1.0% de adición de caucho molido según diseño Marshall

Las MAC modificadas con el 1.0 % de caucho molido, se hicieron testigos con un %C. A del 5.0 % a temperaturas de 150 °C compactándose a 72 golpes por cada cara de los especímenes con el martillo Marshall utilizando el pedestal, dichos resultados se muestran en la tabla 16

Tabla 18

Resultados de la adición del 1.0 % de caucho molido

Diseño Marshall con 1.0% de caucho molido							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5.0	5.0	5.0	5.0	%	SI
Compactación		75	75	75	75	und	SI
Flujo		3.19	3.4	3.3	3.3	mm	SI
Estabilidad sin corregir		1056.8	1230.6	1238.5	-	kg	SI
Factor de estabilidad	+/- 1.0%	0.88	0.89	0.90	-	K	-
Estabilidad corregida		927.7	1089.1	1077.5	1031.5	kg	SI
Índice de rigidez		2909.0	3204.0	3266.0	3126.33	Kg/cm	SI

Nota: en la tabla veremos los resultados que obtuvimos en el laboratorio Conchipa ingenieros, se obtuvieron los siguientes resultados mediante el ensayo Marshall la cual fue modificado con caucho molido donde tenemos: estabilidad, flujo e índice de rigidez. Fuente: elaboración propia

Figura 17

Briquetas Marshall sumergidas en Baño María a 60 °C.

Nota: en la figura se muestra las briquetas que se obtuvo al incorporar caucho molido al 1.0 % tanto la rigidez como la estabilidad se rigen dentro de la norma (EG 2. , 2022), en cuanto al flujo se contempla entre 2 – 4 mm, los datos obtenidos de fluencia nos arroja 3.3 mm, este valor se ajusta a los estándares permitidos. Tomada de laboratorio Conchipa

5.1.3.4. MAC, adición de caucho molido al 1.5 % según el diseño Marshall.

Se hicieron probetas las cuales el %C. A optimo fue del 5.0 % modificados con caucho molido al 1.5 % a temperaturas de 150 °C, se compacto dándole 76 golpes de cara en cara de los especímenes compactados por el mazo del equipo Marshall, la data obtenida se muestra en la tabla 17.

Tabla 19

Resultados de la adición de caucho molido al 1.5 %

Adición de caucho molido al 1.5 % -según diseño Marshall							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5.0	5.0	5.0	5.0	%	SI
Compactación		755	755	755	755	und	SI
Flujo		3.4	4.5	4.5	4.2	mm	NO
Estabilidad sin corregir		918.4	899.9	989.7	-	kg	SI
Factor de estabilidad	+/- 1.5%	0.89	0.88	0.87	-	K	-
Estabilidad corregida		817.4	791.9	861.0	823.5	kg	SI
Índice de rigidez		2405.0	1760.0	1914.0	2026.33	Kg/cm	SI

Nota: en la tabla observamos el reporte conchipa, según el diseño Marshall los datos obtenidos con adición de caucho molido, se pudo obtener resultados del flujo, estabilidad y el índice de rigidez. Fuente: elaboración propia

Figura 18

Especímenes sometidos a la rotura según el equipo Marshall

Nota: en la figura se observa la rotura según el equipo Marshall. según los datos de laboratorio. Tomada de laboratorio Conchipa

El % C.A optimo fue del 5.0 % según el diseño Marshall, donde el índice de rigidez y los valores de estabilidad están incluidos entre los rangos que sugiere la normativa (EG 2. , 2022). En cuanto al flujo los valores se deben contemplar entre 2-4 mm, cuyo valor del flujo según nuestros datos obtenidos es de 4.2 mm, estos valores se encuentran por encima del límite superior según la norma establecida, por lo tanto, la adición de caucho molido al 1.5 %, no incluye los criterios relacionados a las MAC.

5.1.3.5. Diseño Marshall de la MAC, en caliente con 2.0% de adición de caucho molido

El % C. A optimo fue del 5.0 % donde fueron elaborado las probetas. La MAC fueron modificadas con el 2.0 % de caucho molido donde se compactaron con 76 golpes cambiando de cara en cara los especímenes, con el mazo del equipo Marshall, donde la data se visualiza en la tabla 18.

Tabla 20

Resultados de la adición de caucho molido al 2.0 % mediante el diseño Marshall

Adición del 2.0% de caucho molido mediante el diseño Marshall.							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5.0	5.0	5.0	5.0	%	SI
Compactación		755	755	755	755	und	SI
Flujo	+/- 2.0%	4.8	4.9	4.7	4.80	mm	NO
Estabilidad sin corregir		670.4	642.1	700.2	-	kg	SI
Factor de estabilidad		0.88	0.89	0.90	-	K	-
Estabilidad corregida		590.0	571.5	630.2	597.20	kg	SI
Índice de rigidez		1230.0	1167.0	1341.0	1246.0	Kg/cm	SI

*Nota**:*** en la tabla observamos los resultados obtenidos al adicionar caucho molido a un *2 %,* el reporte conchipa que se obtuvieron datos estabilidad, flujo, índice de rigidez según el diseño Marshall adicionando caucho molido. Fuente: elaboración propia

Figura 19

Especímenes sometidos a la rotura con el equipo Marshall

Nota: en la figura de puede observar la rotura de los especímenes con el equipo marshall. Tomada de laboratorio Conchipa

La modificación con caucho molido al 2.0 %, nos resulta valores de fluencia y estabilidad que se encuentran fuera de los limites superiores de la normativa EG -2013, debido a que el flujo se debe contemplar entre 2-4 mm, según los resultados obtenidos nos arrojan 4.8 mm, cuyo valor se encuentran fuera de los valores permitidos, la estabilidad tiene que tener como mínimo 815 kg, siendo la estabilidad obtenida de 597.20 kg. Tomada de laboratorio Conchipa

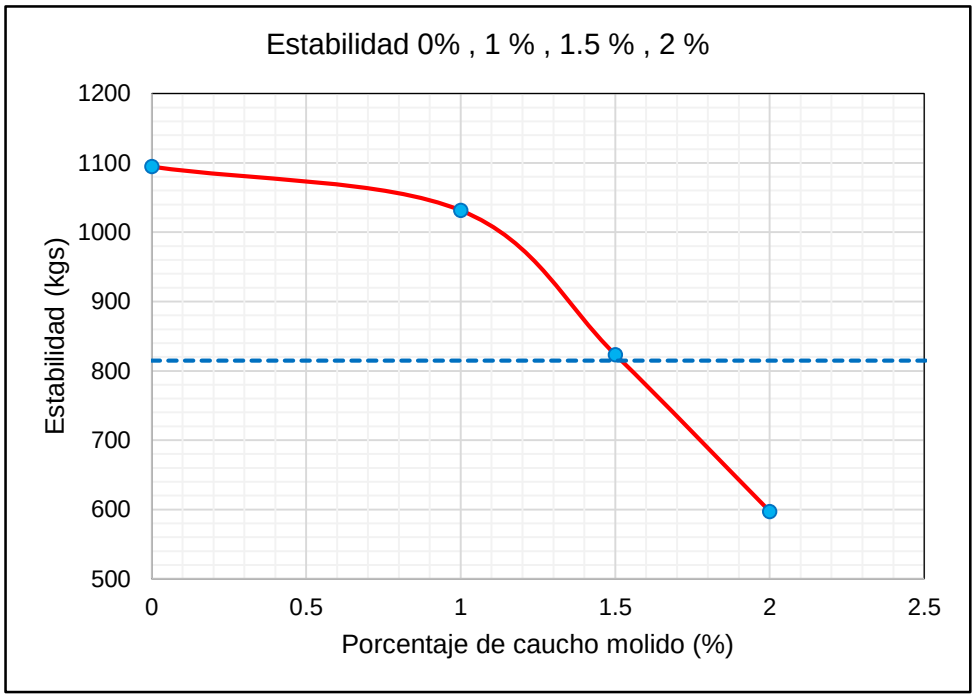
5.1.3.6. Resultados del ensayo Marshall según diseño

Resultados de las MAC convencionales incorporadas con caucho molido versus la MAC, convencional, examinamos fundamentalmente los parámetros como el índice de

rigidez en función al caucho molido, estabilidad y flujo, en relación a sus propiedades mecánicas se visualizan en el siguiente gráfico.

Figura 20

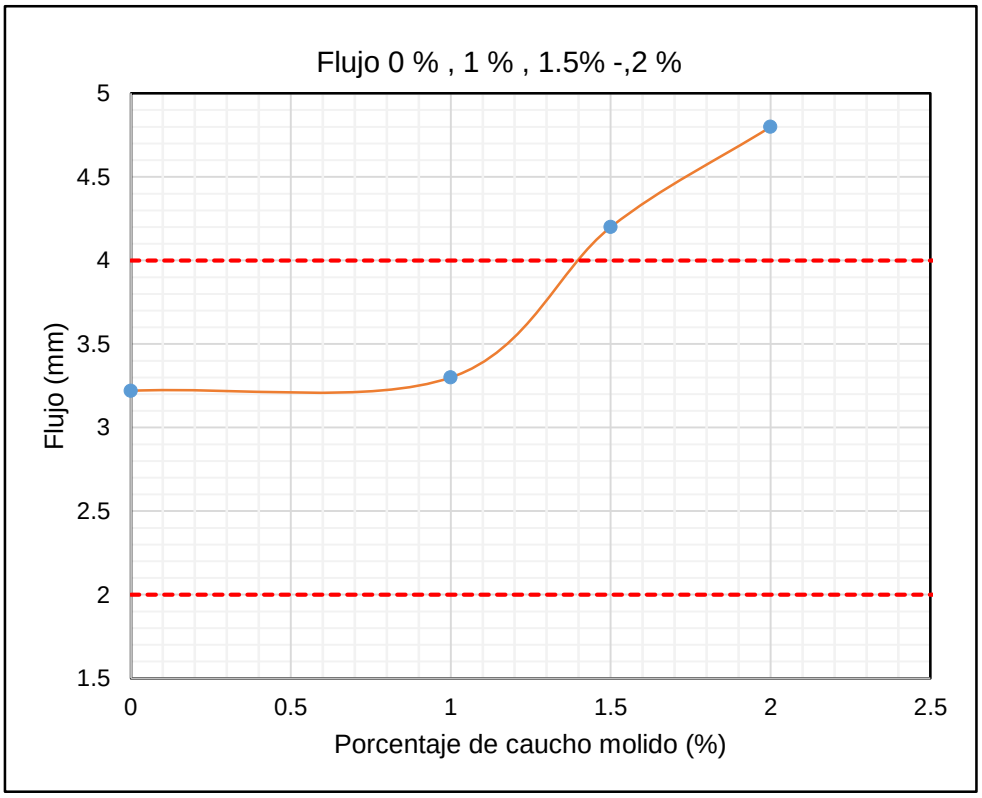
% de caucho molido con respecto a la variación de la estabilidad



Nota: en la figura se presenta un decremento inferior al límite mínimo de acuerdo a la normativa del ensayo Marshall en cuanto a su estabilidad, (EG 2. , 2022). Fuente: elaboración propia

Figura 21

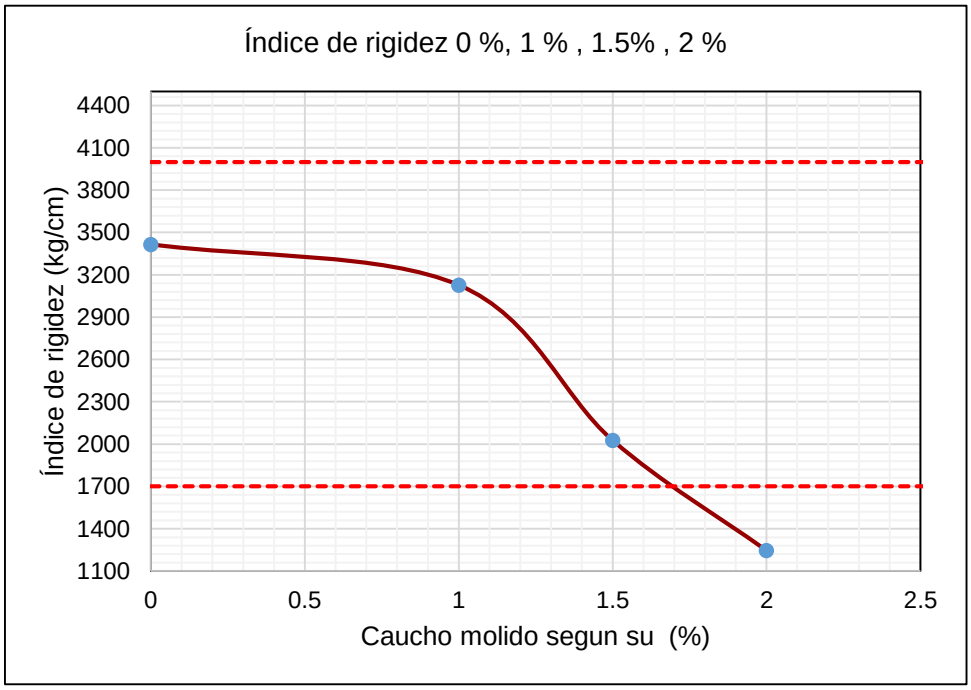
% de caucho molido frente a la variación del flujo



Nota: en la figura el flujo presenta un incremento al adicionar el 1.5 %,2 % de caucho molido, lo cual hace que este valor del flujo este fuera de los criterios requeridos según la norma. (EG 2. , 2022). Fuente: elaboración propia

Figura 22

% de caucho molido, variación del índice de rigidez



Nota: en la figura se muestra en la parte de arriba, se presenta un decremento del índice de rigidez al adicionar valores hasta el 2.0 % de caucho molido con valores de rigidez de 1246 kg/cm encontrándose por muy debajo de las especificaciones generales que son de 1700- 4000 kg/cm. Fuente: elaboración propia

En la tabla 19 que se muestra a continuación, se resumen los resultados según los parámetros del ensayo Marshall con adición de caucho molido al 0 %, 1.0 %, 1.5 % y 2 %.

Tabla 21

Resultados, incorporación de caucho molido al 0%,1 %,1.5 %,2%

Ensayo Marshall con adición de caucho molido al 0% - 1% - 1.5% - 2%					
Óptimo contenido de asfalto (PEN 60/70) - 5.0%					
%	0%	1 %	1.5%	2 %	Condición
Estabilidad	1094.68	1031.5	823.5	597.20	815 kg mín.
Flujo	3.22	3.3	4.2	4.8	2 – 4 mm
Índice de rigidez	3415	3126.33	2026.33	1246.0	11700 – 4000 kg/cm

Nota: en la tabla se muestra los resultados de las pruebas que se realizaron en el laboratorio, cuando se incorpora el caucho molido con diferentes porcentajes. Fuente: elaboración propia

5.1.2. Resistencia a la compresión diametral mediante el ensayo de TSR

Se basa en la normativa (NLT-346/90, 1990) donde haya un análisis de la resistencia en dirección diametral de las MAC. Por el ensayo brasileño

El ensayo consiste en preparar especímenes con caucho molido al 0 % ,1.0 %,1.5 % y 2.0 % con temperaturas de 150 °C +/- 5 °C, después con el pie de rey y dimensionan las alturas y diámetro, se calculan los pesos con aproximaciones de +-0.2 gr, cuya data se utilizará con fines de conocer la TSR.

Se procede a colocar el cabezal Lottman en el equipo Marshall para realizar la resistencia, los especímenes varían en % de caucho molido al 1 %,1.5 %,2% con respecto a las mezclas asfálticas convencionales, seguidamente se aplica cargas de rotura en el cabezal Lottman a bajas velocidades, donde el esfuerzo máximo de fractura se denota por la letra N, donde después reemplazamos en la formula.

La data obtenida para la tracción indirecta en diversos % de caucho molido se muestran en la tabla 24.

Tabla 22

Resistencia a la compresión diametral – Resultados

Mezcla	T°	T´	Resistencia a compresión diametral		
	Digestión (°C)	Digestión (hr)	Mpa	Kg/cm2	Variación
MAC + 0%	0	0	6.1	61	0.0 %
MAC + 1 % caucho molido	60	2	6.8	68	11.48 %
MAC + 1.5 % caucho molido	60	2	5.8	58	- 4.92 %
MAC + 2 % caucho molido	60	2	5.1	51	−16.39%

Nota: en la tabla se muestra las pruebas de laboratorio cuando se incorpora el caucho molido con diferentes porcentajes utilizando la compresión diametral. Elaboración propia según los datos de laboratorio. Fuente: elaboración propia.

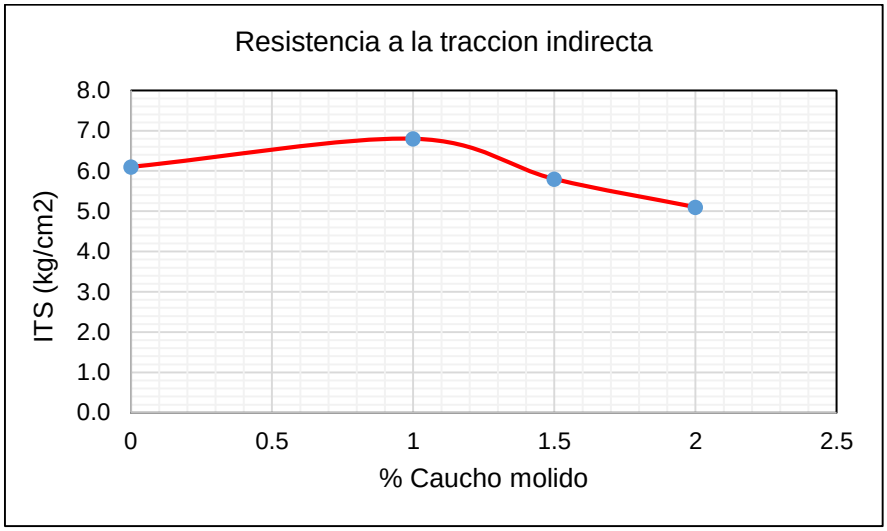
Figura 23

Pruebas de tracción indirecta

Nota: en la figura se observa la prueba que se realizó, tracción indirecta. Tomada de laboratorio Conchipa

Figura 24

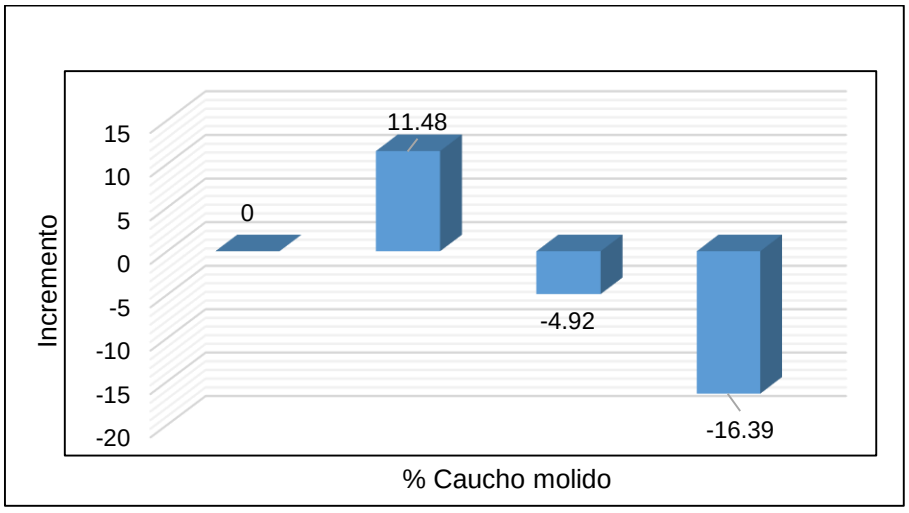
ITS VS %Caucho molido



Nota: en la figura se observa que al adicionar caucho molido al 1.0 % nos presenta un leve incremento del 11.48 frente a la MAC convencional y al adicionar el caucho molido al 1.5 % ,2 %, nos presenta un decremento del 4.92 % y 16.39 % de ITS vs la MAC. Convencional.Tomada de laboratorio Conchipa

Figura 25

Resistencia a la tracción indirecta mediante su variabilidad



Nota: en la figura muestra la resistencia a la tracción indirecta mediante su variabilidad. Tomada de laboratorio Conchipa

5.1.3. Procedimiento para el ensayo de cántabro

El manual del MTC E 515 contextualiza todo el procedimiento del ensayo de desgaste por perdida de una MAC

Es aplicado en mezclas asfálticas modificadas y comunes con el fin de lograr el % de perdida por desgaste donde el tráfico genera efectos de abrasión.

Para el ensayo de cántabro se dispuso 3 muestras sin adición y otras que muestran con adición de caucho molido a diferentes %.

El procedimiento de estos especímenes se encuentra primeramente a temperatura ambiente de 26 °C con cortos periodos menores a 1 hora, se pesan especímenes obteniéndose un (P1). Los especímenes se colocan dentro de un tambor sin esferas, se programó el tambor con revoluciones de 30 a 33 rpm según el manual de ensayos MTC E 515, después de los 8 minutos se procede a sacar las muestras y se pesa dándonos el valor de (P2), en la tabla 21 se proyecta la data obtenida.

Tabla 23

Ensayo de cántabro en base a sus resultados

Mezcla asfáltica	T° ensayo (°C)	Incorporación con caucho molido (%)	Desgaste (%)
MAC – 1	24 °C	0.0	- 4.57
MAC + 1.0% de caucho molido	24 °C	1.0	- 4.65 %
MAC + 1.5 % de caucho molido	24 °C	1.5	- 7.90%
MAC + 2.0 % de caucho molido	25 °C	2.0	- 13.93 %

Nota: en la tabla observamos los resultados del ensayo de cántabro, podemos observar que al adicionar mayor cantidad de caucho molido se presenta mayor desgaste de las muestras. Fuente: elaboración propia

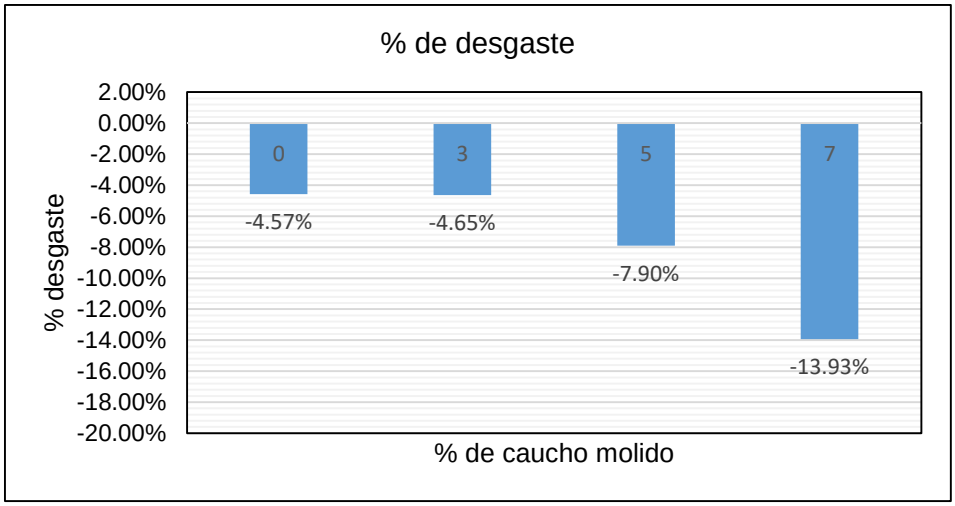
Figura 26

% de desgaste (ensayo de cántabro)

Nota: en la figura se observa el ensayo de cántabro. Tomada de laboratorio Conchipa.

Figura 27

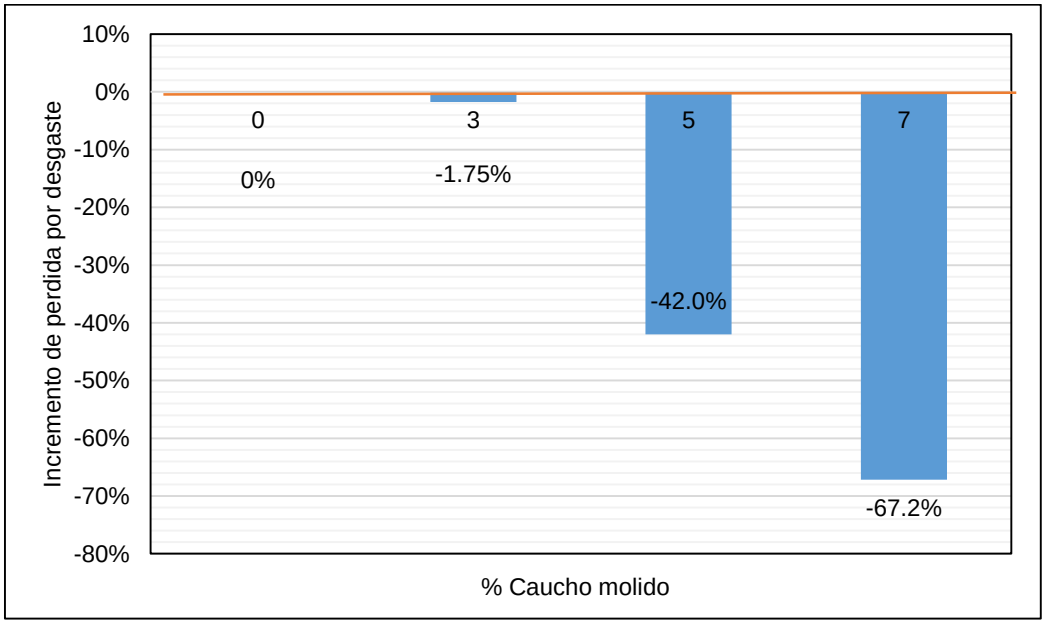
Perdida por desgastes de las muestras asfálticas.



Nota: basado en lo presentado en la figura al adicionar mayor cantidad de caucho molido se produce más desgaste, esto se realizó mediante las pruebas de cántabro colocando muestras asfálticas convencionales y muestras adicionadas con caucho molido. Fuente: elaboración propia

Figura 28

Variabilidad de la MAC común – Según él % de desgaste



Nota: observamos en la figura el % de pérdida por desgaste son distintos cuando se añade mayor cantidad de caucho molido a comparación de la MAC patrón, esto simula % de desgaste cuando existe un alto tráfico de los vehículos generando efectos de abrasión.

Fuente: elaboración propia

5.2. Discusión de resultados

5.2.1 Discusión de resultados del objetivo general

Según los análisis que se realizaron al objetivo general se obtuvo como resultado que al incorporar caucho molido menores al 1 % optimiza las propiedades mecánicas de las MAC, además de encontrarse dicho resultado dentro de los parámetros establecidos.

5.2.1.1. Discusión de resultados del objetivo específico 1

Al adicionar caucho molido en 1.0 % a la MAC, podemos ver que mejora en su comportamiento estabilidad – flujo con respecto a la MAC, convencional. Las mezclas asfálticas incorporadas con 1.0 % de caucho molido mostraron valores de 3126.33 kg/cm ajustándose dentro de los criterios exigidos por la normativa (EG 2. , 2022) que son de 1700 hasta 4000 kg/cm , el cual se comporta de manera adecuada en cuanto a la MAC

convencional del 0 % es de 3415 kg/cm, Dado que este valor está próximo al límite máximo, el 1.5% es de 2026.33 kg/cm y se sitúa en el límite mínimo de los parámetros fijados; en cambio, el 2% da 1246 kg/cm y excede los límites establecidos.

Al adicionar caucho molido al 1 % este nos arroja valores de rigidez del 3342 kg/cm, respecto a la MAC convencional, se encuentra fuera del límite superior con 4310 kg/cm, mientras al adicionar el1.5 % de caucho molido presentara valores de 3243 kg/cm, podemos observar que se encontró cerca al límite superior, adicionando caucho molido al 2 % su valor es de 2821 kg/cm, está dentro de los límites establecidos, según (Granados J. , 2017).

Las comparaciones de ambas investigaciones demuestran que al adicionar caucho molido al 1 % la muestra mejoro su comportamiento según su índice de rigidez ajustándose a los criterios exigidos por la normativa ASHHTO de (1700-4000 kg/cm)

5.2.1.2 Discusión de resultados del objetivo específico 2

Según las normativas AAHSTO los valores exigentes mínimos del TSR son del 80 %. en la MAC patrón fue del 84 % TSR, al adicionar caucho molido al 1 % se logró llegar a un pico máximo del TSR del 91 % y al adicionar los otros % restantes de caucho molido, se visualiza que los % de TSR disminuyen. Afirmamos entonces que al adicionar caucho molido al 1 % su (TSR) incrementa notablemente

Los valores de TSR en MAC convencional del 84 %, al incorporar caucho molido al 1 % se presentó valores del 93.7 % llegando a su valor máximo de resistencia, mientras que al adicionar el 1.5 % y 2.0 %, observamos que los % de TSR disminuyen. Entonces afirmamos que al adicionar caucho molido en 1.0 % las muestras asfálticas aumentan significativamente su degradación asociada a la presencia de humedad, según (Granados J. , 2017).

Las comparaciones entre los dos estudios. Se observan similitudes en los resultados analizados con una adición del 1 % de caucho molido, ya que ambos alcanzan su valor máximo del TSR. En este punto se confirman aumentos notables en el TSR.

5.2.1.3 Discusión de resultados del objetivo específico 3

El % de desgaste de la MAC patrón fue del 4.57 % a comparación de la MAC, incorporada con caucho molido donde presento valores del 4.65 %,7.90 % y 13.90 %, donde concluimos que al adicionar mayor cantidad de caucho molido se presentó mayor desgaste con respecto a la MAC patrón.

El ensayo de cántabro arrojo datos donde él % de desgaste de una MAC, convencional nos dio valores de 3.48 % con respecto a una mezcla modificada a diferentes % de caucho molido del 1%,1.5% y 2 % que presentan valores de perdida por desgaste 4.65 %, 7.9% y 13.93 %, por lo tanto, al añadir más caucho molido, se presentó mayor desgaste frente a una MAC convencional. Según (Granados J. , 2017).

Las comparaciones entre los dos estudios. De los resultados estudiados al adicionar el 1 %,1.5 % y 2 % de caucho molido a las mezclas donde se encuentran valores coincidentes, ya que ambos alcanzan un % mayor de perdida de desgaste frente a las MAC convencionales.

5.2.2. Prueba de hipótesis

5.2.2.1. Hipótesis general

Las propiedades MAC. Modificada con caucho molido, mejoran, con respecto a las propiedades mecánicas de una MAC. Convencional Abancay-Apurímac 2024.

5.2.2.2. Hipótesis especificas

a. Hipótesis especifica 01

- La resistencia a la deformación de MAC, modificado con caucho molido mejora con respecto a una MAC, convencional, mediante los parámetros del ensayo Marshall.
- La hipótesis se pone a prueba utilizando el análisis de varianza ANOVA, estadísticamente cuando se utilizan más de dos muestras en forma independiente, en este caso se tienen 3 índices con distintos %.

- Contrastación de la MAC asfáltica convencional con respecto a la MAC modificada según su estabilidad y flujo

La MAC, convencional según su estabilidad presento valores de 1094.68 kg, con caucho molido de 1 % es de 1031.5 kg, con caucho molido de 1. 5% es de 823.5 kg y con caucho molido de 2.0 % es de 597.20 kg. El flujo convencional sin caucho y con caucho molido presento valores de 0% - 3.22 mm, 1 % - 3.3 mm, 1.5 % - 4.2 mm y 2 % - 4.8 mm.

b. Formulación de hipótesis

H0: No hay una variación significativa entre las medias de estabilidad y flujo, en comparación con la MAC, común, al agregar 1%, 1.5% y 2% de caucho molido.

H1: Cuando se añade un 1 %, un 1.5 % y un 2 % de caucho molido, se presenta una diferencia importante entre las medias de flujo y estabilidad en comparación con la MAC, común.

Tabla 24

Caucho molido según su estabilidad – resultados

Resumen de estabilidad (kg)			
0% - Caucho molido	1 % - Caucho molido	1.5 % - Caucho molido	2 % - Caucho molido
(M-1) – 1117.6	(M-4) – 927.7	(M-7) – 817.4	(M-10) – 590
(M-2) – 1195.8	(M-5) – 1089.1	(M-8) – 791.9	(M-11) – 571.5
(M-3) – 970.7	(M-6) – 1077.5	(M-9) – 861	(M-12) – 630.2

Nota: en la tabla se muestra las pruebas de laboratorio cuando se incorpora el caucho molido con diferentes porcentajes en cuanto a la estabilidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 25

Valores estadísticos descriptivos

Caucho molido	N	mean	Standard deviación	Coeficiente of variación	95 % trust	
					Loser	Upar
0 %	3	1095.0	114.0	10.4 %	965.0	1224.0
1 %	3	1031.0	90.0	8.73 %	930.0	1133.0
1.5 %	3	823.0	34.9	4.24 %	784.0	863.0
2 %	3	597.0	30.0	5.03 %	563.0	631.0

Nota: en la tabla se observa los valores estadísticos. Fuente: elaboración propia

Tabla 26

Análisis de varianza de la estabilidad con caucho molido

Zurces	SS	Df	MS	F	P valué	F criticar
Between grupos	456016.08	3	152005.360	26.1104	2e -04	4.0662
Within groups	46573.14	8	5821.642	NA	NA	NA
Total	502589.22	11	157827.002			

Nota: en la tabla se observa su análisis de varianza, se niega la hipótesis nula (Ho) en la estabilidad, ya que el valor F calculado es > que el valor crítico de F con una confianza del 95 %. Para poder comprobar mediante un método más preciso que si existen diferencias más significativas emplearemos el método de Tukey. Fuente: elaboración propia

Tabla 27

Estabilidad con caucho molido – diferencias de medias con el método Tukey

Tukey						
Caucho molido		Mean	std err	p – valué	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	1 %	63.27	36.527	0.7455	- 262.76	136.235
	1.5%	271.27	156.62	0.0104	- 470.77	71.765
	2 %	497.47	287.21	0.0002	-696.97	297.97
1 %	0 %	16.23	152.06	0.9998	-672.43	704.90
	1.5 %	208.00	120.09	0.0413	- 407.50	8.498
	2 %	434.20	250.69	0.0005	- 633.70	234.69
1.5 %	0 %	271.27	156.62	0.0104	- 470.77	71.765
	1 %	208.00	120.09	0.0413	- 407.50	8.498
	2 %	226.20	130.59	0.0275	- 425.70	26.6984
2 %	0%	497.47	287.21	0.0002	- 696.97	297.97
	1 %	434.20	250.69	0.0005	- 633.70	234.69
	1.5 %	226.20	130.59	0.0275	- 425.70	26.6984

Nota: en la tabla se muestra que existe una disparidad significativa entre la media de los diversos niveles de % de caucho molido donde La hipótesis nula (H0) de estabilidad es rechazada porque la comparación múltiple de medias p –valué < 0.05. Fuente: elaboración propia

Tabla 28

Resumen del flujo de caucho molido

Resumen de flujo (mm)			
0% - caucho molido	1 % - caucho molido	1.5 % - Caucho molido	2 % - Caucho molido
(M-1) – 3.18	(M-4) – 3.19	(M-7) – 3.4	(M-10) – 4.8
(M-2) – 3.10	(M-5) – 3.4	(M-8) – 4.5	(M-11) – 4.9
(M-3) – 3.38	(M-6) – 3.3	(M-9) – 4.5	(M-12) – 4.7

Nota: en la tabla se muestra los resultados de las pruebas de flujo de caucho molido para la incorporación en las pruebas de las muestras de MAC. Fuente: elaboración propia.

Tabla 29

Valores estadísticos descriptivos

Caucho molido	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	3.22	0.144	0.0488 %	2.86	3.58
1 %	3	3.30	0.105	0.0319 %	3.04	3.56
1.5 %	3	4.13	0.635	0.154 %	2.56	5.71
2 %	3	4.80	0.1	0.0208 %	4.55	5.05

Nota: en la tabla se muestra los resultados estadísticos de las pruebas de flujo de caucho molido para la incorporación en las pruebas de las muestras de MAC. Fuente: elaboración propia.

Tabla 30

Análisis de varianza de flujo con caucho molido

Sources	SS	Df	MS	F	P valué	F critica
Between groups	5.0557	3	1.6852	15.1425	0.0012	4.0662
Within groups	0.8903	8	0.1113	NA	NA	NA
Total	5.946	11	1.7965			

Nota: en la tabla se muestra los resultados de las pruebas de flujo de caucho molido para la incorporación en las pruebas de las muestras de MAC. Fuente: Elaboración propia.

Se rechaza la hipótesis nula en el flujo, pero no en la planteada, ya que se sostiene con un 95 % de confianza que el F calculado es > que el valor crítico para F. Para verificar de mejor manera si hay diferencias significativas emplearemos el método Tukey. Fuente: elaboración propia.

Tabla 31

Flujo incorporado con caucho molido – diferencia de medias

Tukey						
Caucho molido		mean	std err	p - valué	95 % trust	
					Lower	Upper
	1 %	0.0767	0.044	0.9916	- 0.796	0.9489
0 %	1.5 %	0.9133	0.527	0.0404	0.041	1.7856
	2 %	1.5800	0.912	0.00181	0.707	2.452
	0 %	0.0767	0.044	0.9916	- 0.796	0.9489
1 %	1.5 %	1.967	0.83	0.396	-1.801	5.735
	2 %	2.067	0.83	0.3581	-1.701	5.835
	0%	3.417	0.83	0.076	-0.351	7.185
1.5 %	1%	0.837	0.48	0.060	- 0.036	1.708
	2%	0.667	0.38	0.144	-0.205	1.539
	0%	1.580	0.912	0.00181	0.707	2.452
2 %	1%	2.067	0.83	0.3581	-1.701	5.835
	1.5%	0.667	0.38	0.144	-0.205	1.539

Nota: en la tabla se muestra los resultados incorporando caucho molido para ver la resistencia y comportamiento mecánico. Fuente: elaboración propia

Según la tabla 25 existe una disparidad significativa entre la media de los diversos niveles de % de caucho molido En el flujo, la comparación múltiple de medias da como resultado un p valué <0.05, lo que lleva al rechazo de la hipótesis nula (H0).

5.2.2.3. Hipótesis especifica 02

A través de la prueba de resistencia a la compresión diametral, se observa que la MAC, con caucho molido tiene una mejor resistencia a la tracción indirecta en comparación con las mezclas convencionales.

La MAC, convencional en el ensayo de tracción indirecta presenta valores de 6.1 Mpa con el 1 % de adición fue de 6.8 Mpa con el 1.5 % fue de 5.8 Mpa y del 2 % fue del 5.1 Mpa, se presentó un incremento y un decremento con respecto a la MAC, convencional.

a. Formulación de hipótesis

H0: En la MAC, modificada con 1 %, 1.5 % y 2 % de caucho molido, no se observa una distinción importante entre los tres promedios de tracción indirecta y la MAC, estándar.

H1: Si hay una distinción importante entre los tres promedios de tracción indirecta y la MAC. Ordinaria, se añade el 1 %, el 5 % y el 2 % de caucho molido a la mezcla asfáltica.

Tabla 32

Resultados de tracción indirecta de caucho molido

Resumen de tracción indirecta (Mpa)			
0% - Caucho molido	1 % - Caucho molido	1.5 % - Caucho molido	2 % - Caucho molido
(M-1) – 6.08	(M-4) – 7.06	(M-7) – 6.48	(M-10) – 5.18
(M-2) – 6.09	(M-5) – 6.72	(M-8) – 5.14	(M-11) – 5.02
(M-3) – 6.01	(M-6) – 6.58	(M-9) – 5.91	(M-12) – 5.0

Nota: en la tabla se muestra los resultados de la tracción indirecta del caucho molido incorporando diferentes porcentajes. Fuente: elaboración propia.

Tabla 33

Valores estadísticos descriptivos

Caucho molido	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	6.06	0.0436	0.719 %	5.95	6.17
1 %	3	6.79	0.247	3.64 %	6.17	7.40
1.5 %	3	5.84	0.672	11.5 %	4.17	7.51
2 %	3	5.07	0.0987	1.95 %	4.82	5.31

Nota: en la tabla se muestra la causalidad entre las cantidades de caucho molido y el resultado obtenido. Fuente: elaboración propia

Tabla 34

Análisis de varianza de TSR con caucho molido

Sources	SS	Df	MS	F	P valué	F critica
Between groups	4.5099	3	1.5033	11.4581	0.0029	4.0662
Within groups	1.0496	8	0.1312	NA	NA	NA
Total	5.5595	11	1.6345			

Nota: en la tabla se muestra la causalidad entre las cantidades de caucho molido y el resultado obtenido desde el punto de vista de la varianza. Fuente: elaboración propia

Se sostiene que el F calculado es > al valor crítico para F con una confianza del 95 %, por lo cual se descarta la hipótesis nula (H_0) en el TSR. Usaremos Tukey para verificar mejor si existen diferencias significativas.

Tabla 35

Diferencias de medias de TSR con caucho molido

Tukey – TSR						
Caucho molido		mean	std err	p - valué	95 % trust	
					Lower	Upper
	1 %	0.72	0.41	0.142	-0.22	1.67
0 %	1.5 %	0.21	0.12	0.881	-1.16	0.73
	2 %	0.99	0.57	0.040	- 1.94	0.04
	0 %	0.72	0.41	0.142	-0.22	1.67
1 %	1.5 %	0.94	0.54	0.050	-1.89	0.004
	2 %	1.72	0.99	0.001	-2.67	0.77
	0%	0.72	0.41	0.142	-0.22	1.67
1.5 %	1%	0.94	0.54	0.050	-1.89	0.004
	2 %	0.77	0.44	0.112	-1.72	0.170
	0%	0.99	0.57	0.040	- 1.94	0.04
2 %	1%	1.72	0.99	0.001	-2.67	0.77
	1.5 %	0.77	0.44	0.112	-1.72	0.170

Nota: en la tabla se muestra la causalidad entre las cantidades de caucho molido y el resultado obtenido desde el punto de vista de las medias. Fuente: elaboración propia

Se evidencia que el p-valor de la comparación múltiple de medias p – valué < 0.05; por ende, se descarta Ho – hipótesis nula en el TSR. Por lo tanto, sí hay un contraste significativo entre las medias de los diferentes % de caucho molido.

5.2.2.4. Hipótesis especifica 03

La resistencia al desgaste de la MAC, modificado con caucho molido mejora en comparación con una MAC, tradicional, mediante el ensayo de cántabro.

La resistencia al desgaste presento valores con adición de caucho molido al 1 % fue de 4.65 %, 1,50 % fue de 7.90 %, del 2 % fue 13.43 %, de la MAC, convencional fue de 4.57 %, se presenta mayor desgaste cuando se adiciona caucho molido.

a) Formulación de hipótesis

H0: No se observan distinciones importantes entre los tres promedios de resistencia al desgaste cuando se los contrasta con la MAC, común cuando se añaden 1%, 1.5% y 2% de caucho molido a la mezcla asfáltica.

H1: La incorporación de 1%, 1.5% y 2% de caucho molido a la MAC, aditiva da, en caso de que haya una variación importante entre las tres medias de resistencia a la abrasión en comparación con la MAC, estándar.

Tabla 36

Resultados de perdida por desgaste de caucho molido

Resumen de perdida por desgaste (%)			
0% - Caucho molido	1 % - Caucho molido	1.5 % - Caucho molido	2 % - Caucho molido
(P-1) – 3.82	(P-4) – 3.63	(P-7) – 9.44	(P-10) – 5.97
(P-2) – 5.34	(P-5) – 4.99	(P-8) – 5.35	(P-11) – 15.97
(P-3) – 4.54	(P-6) – 5.34	(P-9) – 8.92	(P-12) – 19.86

Nota: en la tabla se muestra la causalidad entre las cantidades de caucho molido y el resultado obtenido con la prueba de desgaste. Fuente: elaboración propia.

Tabla 37

Resultados estadístico descriptivo por desgaste de caucho molido

Caucho molido	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	4.57	0.760	16.6%	2.68	6.46
1 %	4	4.65	0.903	19.4 %	2.41	6.90
1.5 %	4	7.90	2.23	28.2 %	2.37	13.4
2 %	2	13.90	7.17	51.4 %	-3.87	31.7

Nota: en la tabla se muestra la causalidad entre las cantidades de caucho molido y el resultado obtenido con la prueba de desgaste. Análisis de varianza. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

Análisis de varianza de la perdida por desgaste con caucho molido

Sources	SS	Df	MS	F	P valué	F critica
Between groups	173.9378	3	57.9793	4.0197	0.0513	4.0662
Within groups	115.3909	9	14.4239	NA	NA	NA
Total	289.3287	12	72.4032			

Nota: en la tabla se muestra la causalidad entre las cantidades de caucho molido y el resultado obtenido con la prueba de desgaste. Se sostiene con un 95 % de confianza que el valor calculado de F < que el valor crítico para F, por lo cual no se niega la hipótesis nula (H0), que postula la pérdida debida al desgaste. Usaremos Tukey para verificar mejor si existen diferencias significativas. Fuente: elaboración propia

Tabla 39

Diferencias de medias de perdida por desgaste de caucho molido por método Tukey

Tukey						
Caucho molido		mean	std err	p - valué	95 % trust	
					Lower	Upper
	1 %	0.087	0.05	0.999	-9.84	10.01
0 %	1.5 %	3.336	1.92	0.71	-6.59	13.26
	2 %	9.367	5.40	0.064	-0.563	19.297
	0 %	0.087	0.05	0.999	-9.84	10.01
1 %	1.5 %	3.250	1.876	0.728	-6.680	13.180
	2 %	9.280	5.357	0.067	-0.650	19.21
	0%	1.358	2.18	0.97	-8.29	11
1.5 %	1%	3.250	1.876	0.728	-6.680	13.180
	2%	6.03	3.48	0.283	-3.900	15.96
	0%	9.367	5.40	0.064	-0.563	19.297
2 %	1%	9.280	5.357	0.067	-0.650	19.21
	1.5%	6.03	3.48	0.283	-3.900	15.96

Nota: en la tabla se observa que el p– valué > 0.05 en la comparación de medias múltiples, por lo cual no se descarta la H0 – hipótesis nula en relación con la disminución por desgaste; por ende, no hay una diferencia importante entre las medias de los distintos % de caucho molido. Fuente: elaboración propia.

VI. Conclusiones

6.1. Conclusión para el objetivo general

De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio, se analizó que la incorporación de caucho molido sí tiene un impacto en la conducta mecánica de la MAC, en caliente, para los % de incorporación de caucho molido menores al 1%.

6.1.1. Conclusión para el objetivo específico 1

La MAC, se comporta mejor en términos de flujo-estabilidad si se le añade caucho molido al 1.0% en comparación con la MAC, patrón. Los hallazgos de las MAC, con incorporación de hasta 1.0% de caucho molido son los siguientes de 3126.33 kg/cm, los resultados de la MAC, patrón 0 % son de 3415 kg/cm, lo cual está cerca del límite superior. Para el 1.5 %, el resultado es de 2026.33 kg/cm; este valor se halla en el límite inferior de los parámetros establecidos. Finalmente, para el 2 %, el resultado es de 1246 kg/cm, que excede los parámetros requeridos por las especificaciones AASHTO (de entre 1700 y 4000 kg/cm) y no proporciona un comportamiento adecuado a la mezcla asfáltica.

6.1.2. Conclusión para el objetivo específico 2

La resistencia a la tracción indirecta se eleva al agregar caucho molido (hasta el 1.0%). Se puede concluir, entonces, que al agregar caucho molido en una proporción del 1.5 % y del 2 %, la resistencia a la tracción se reduce en 5.8 Mpa y 5.1 Mpa, respectivamente, en relación con la MAC, de referencia. Por lo tanto, el valor más adecuado para la incorporación de caucho molido es del 1.0 %, con una resistencia a la tracción indirecta de 6.8 Mpa.

6.1.3. Conclusión para el objetivo específico 3

Al adicionar caucho molido no mejora al contrario muestra una disminución en la resistencia al desgaste, dado que los resultados obtenidos con una adición del 0% y el 1% de caucho Molido mostró una media de pérdidas debidas al desgaste de 4.57 % y 4.65 %. En contraste, cuando se añadió caucho molido al 1.5 %, sus pérdidas por desgaste aumentaron a 7.90 %, y al 2 % de adición de caucho molido, estas alcanzaron el 13.93 %.

En resumen, el valor más adecuado con la incorporación de caucho molido es del 1 %, ya que a mayor adición de caucho molido incrementa la el desgaste.

VII. Recomendaciones

A continuación, se exponen las sugerencias que se pudieron obtener gracias a este estudio.

7.1. Recomendación para el objetivo general

Con respecto al objetivo general. Examinar las propiedades mecánicas de la MAC, convencional en comparación con las de la MAC, en caliente que se ha modificado con caucho molido, De acuerdo con los experimentos de laboratorio, se aconseja incluir este material en la MAC, en caliente en proporciones que no sobrepasen el 1% de caucho molido, con el fin de preservar las características mecánicas de la MAC, como la resistencia a la deformación, la resistencia al desgaste y la resistencia a la tracción indirecta, para su uso en las carpetas asfálticas futuras de una carretera departamental.

7.1.1. Recomendación para el objetivo específico 1

El objetivo específico 1 es determinar la resistencia a la deformación de una MAC, que ha sido modificada con caucho molido, comparándola con una MAC, convencional según el método Marshall. Por esta razón, se toman en cuenta los resultados de laboratorio y se aconseja no incluir % de caucho molido mayores al 1%, ya que, conforme a los parámetros establecidos por la EG-2013, se observó un aumento del flujo y una merma en la estabilidad.

7.1.2. Recomendación para el objetivo específico 2

En el objetivo específico 2, Determinar la resistencia a la tracción indirecta de la MAC, en caliente modificada con caucho molido, Se observó un aumento en la resistencia a la tracción indirecta de una MAC, convencional, por lo que se recomienda incluir el 1 % de caucho molido. Esto se determinó a través del ensayo de TSR y se tienen en cuenta los resultados de laboratorio.

7.1.3. Recomendación para el objetivo específico 3

En el objetivo específico 3, Analizar la resistencia al desgaste de la MAC, modificado con caucho molido, con respecto a una MAC, convencional, según el ensayo

de cántabro, Es por esta razón que se tienen en cuenta los resultados del laboratorio y se aconseja añadir % de caucho molido por debajo del 1%, ya que se constató que el desgaste aumenta con un porcentaje más alto de caucho molido.

VIII. Referencias

Adauto, M. (2019). *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maiz[Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Rpositorio Institucional - Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/browse?type=author&value=Adauto+Orellana%2C+Rosario+Evelyn

Adauto, M. (2022). *Ligante asfáltico con nanotubos de carbono de pared múltiple para determinar su caracterización física y reológica[Tesis de maestría,Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Institucional - Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5350/ADAUTO%20BARZOLA%20MARIA%20CRISTINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arias, N. (2006). *Proposito de la operacionalizacion de variables[Tesis de licenciatura,Universidad Federal de Bogota].* Repositorio Institucional - Universidad Federal de Bogota. https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2179

Automotriz, A. (2022). *Cusco es la cuarta ciudad donde mas vehiculos nuevos se Vende.* AAP. https://aap.org.pe/aap-cusco-es-la-cuarta-ciudad-donde-mas-vehiculos-nuevos-se-vende/

Baptista, P. (2010). *Instrumentos de recoleccion de datos[Tesis de licenciatura,Universidad Nacional Agraria de la Molina].* Repositorio Institucional - Universidad Nacional Agraria de la Molina. https://doi.org/https://bit.ly/3G7gFdS

Baptista, P. (2010). *Medología de la investigación.* Mc Graw Hill. https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf

Boza, D. (2019). *Analsisis de la granulometria de los agregados de la cantera el pedregal y su influencia en las mezclas asfalticas en caliente[Tesis de pregrado,Universidad Tecnologica de los Andes].* Repositorio Institucional - Universidad Tecnologica de los Andes. https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/380/5/Análisis%20de%20la%20gran

ulometría%20de%20los%20agregados%20de%20la%20cantera%20El%20Pedregal%20y%20su%20influencia%20en%20las%20mezclas%20asfálticas.pdf

Bravo, G. (2021). *Mezcla asfaltica SMA,fibra ,ceniza del bagazo de caña de azucar y su desempeño mecanico[Tesis de licenciatura Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Institucional - Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4116?show=full

Calle, L. (2012). *Procedimiento estadistico para herramientas computacionales[Tesis de licenciatura,Universidad Pontificia Catolica del Peru].* Repositorio Institucional - Universidad Pontificia Catolica del Peru. https://doi.org/https://bit.ly/3G53ry7

Cañari, C. (2019). Comportamiento Mecanico de la mezcla asaltica en caliente con adicion de fibras de polipropileno[Tesis de Post grado,Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional - Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2488

Cip Apurimac. (2021). *El problema de la calidad de aire en el distrito de Andahuaylas.Cip.* https://cipapurimac.org.pe/

Clavijo, C. (2019). Comportamiento fisico mecanico de una mezcla densa en caliente tipo MDC- 2 modificada con caucho y curo en porcentajes de 25 % y 75 % [Tesis pregrado,Universidad Catolica de Colombia]. Repositorio Institucional - Universidad Catolica de Colombia. http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1238

DIRESA. (2024). Intensifica acciones contra el Dengue tras reportarse primer caso autoctono en Abancay. Apurimac: Chaski. https://www.diresaapurimac.gob.pe/web/noticias/diresa-apurimac-intensifica-acciones-contra-el-dengue-tras-reportarse-primer-caso-autoctono-en-abancay/

EG, 2. (2013). *Especificaciones tecnicas generales para la construccion.* Direccion General de caminos y ferrocarriles. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/man

uales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcc

EG, 2. (2022). *Especificaciones tecnicas generales para la construccion.* Direccion General de caminos y ferrocarriles. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcc

Figueroa, M. (2019). *Comportamiento de un cemento asfaltico modificado con un desecho de PVC [Tesis de pregrado,Universidad Nacional de Medellin].* Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Medellin. https://www.redalyc.org/pdf/750/75029150007.pdf

Granados. (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 - Universidad Ricardo Palma.

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 - Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/1572/JLGRANADOSN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hernandez, & Sampieri . (2001). *Hipotesis una posible respuesta tentativa en investigaciones Colombianas[Tesis de licenciatura,Universidad del Atlantico de Barranquilla].* Repositorio Institucional - Universidad del Atlantico de Barranquilla. https://doi.org/https://bit.ly/3IGzx4e

Hernandez, M. (2014). *Investigacion correlacional una relacion entre variables [Tesis de licenciatura,Pontificia Universidad Javeriana].* Repositorio Institucional - Universidad Javeriana. https://doi.org/https://bit.ly/3EURVUM

Hernandez, S. (2014). *Enfoque cuantitativo en una investigacion[Tesis de licenciatura,Universidad Nacional Fedrico Villareal].* Repositorio Institucional - *Universidad Nacional Fedrico Villareal* http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252011000300008

Instituto del asfalto. (2020). *Manual de Principios de Construccion de Pavimentos de Mezcla Asfaltica en Caliente MS-22.* Asphalt Institute. https://my.asphaltinstitute.org/Shop/Product-Details?productid=66E0AEB7-301E-E811-80F2-000D3A011CEC

La Republica. (2022). *Deficiencias detectadas en obra vial de Cusco pone en riego su continuidad.* Cip Cusco. https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/851800-deficiencias-detectadas-en-obra-vial-de-cusco-pone-en-riesgo-su-continuidad

Lopez, T. (2019). *El daño por humedad en las mezclas asfalticas[Tesis de pregrado,Universidad Politecnica de Catalunya].* Repositorio Institucional - Universidad Politecnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/126750?show=full

Martinez, J. (2009). *Rehabilitacion de pavimentos del aeropuerto del Cusco usando modificadores de asfalto [Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Institucional - Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/20.500.14138/114/1/martinez_jc-ventocilla_jc.pdf

MTC E 515. (2016). *Caracterizacion de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo de cantabro perdida por desgaste.*Gob. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

MTCE 504. (2016). *Manual de ensayosy materiales.* Gob. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

NLT-346/90. (1990). *Resistencia a compresion diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas.* Normativa de carreteras. https://normativadecarreteras.com/listing/nlt-34690-resistencia-compresion-diametral-ensayo-brasileno-mezclas-bituminosas/

Orellana, R. (2019). *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maiz [Tesis de licenciatura, Ricardo Palma].* Repositorio Institucional - Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/browse?type=author&value=Adauto+Orellana%2C+Rosario+Evelyn

Padilla, A. (2019). *Analsis de la resistencia a las deformaciones plasticas de mezclas bituminosas densas norma mexicana ensayo en pista[Tesis de doctorado,Universidad Politecnica de Catalunya].* Repositorio Institucional - Universidad Politecnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334

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 - ,Universidad Nestor Caceres Velasquez. https://doi.org/https://bit.ly/3bAlmmh

Renego, D. (2022). *España suspende en la conservacion de las carreteras y estado del pavimento. ABC Motor.* 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_

Romanelli, D. (2021). *Cuales son los principales problemas encontrados en los pavimentos de carrtera .* Brasil . https://www.romanelli.com.br/es/noticias/quais-sao-os-principais-problemas-encontrados-nos-pavimentos-rodoviarios-

Rondon, H. (2021). *Evaluacion de las propiedades mecanicas de una mezcla densa n caliente modificada con un desecho de polietileno de baja densidad [Tesis de pregrado,Universidad Distrital Frnacisco Jose de Caldas].* Repositorio - Universidad Distrital Frnacisco Jose de Caldas. www.scielo.cl/pdf/ric/v25n1/art04.pdf

Rosales, T. (2022). *Mezcla asfáltica altamente modificada con polímeros elastómero[Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Intitucional - Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5563/T030_20714378_M%20TULIO%20ROSALES%20NAVARRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Soto, E. (2023). *Uso de caucho de llantas recicladas en mezclas asfalticas en caliente como adicion del cemento asfaltico[Tesis de pregrado,Universidad Tecnologica del Per Perú].* Repositorio Institucional - Universidad Tecnologica del Per Perú. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/7400/E.Soto_Tesis_Titulo_Profesional_2023.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Utea. (2021). *Comite de etica de investigación.* Resolucion del consejo universitario. https://transparencia.utea.edu.pe/download/

Yepez, O. (2021). *Cenizas de bagazo de caña de azucar para mejorar la resistencia y permeabilidad del hormigon[Tesis de pregrado,Universidad Catolica de Guayaquil].* Repositorio Institucional - Universidad Catolica de Guayaquil. http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13844/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-322.pdf

Zaga, N. (2024). *“Influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2023”[Tesis de pregrado,Universidad*

Tecnologica de los andes]. Repositorio Institucional - Universidad Tecnologica de los andes. https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/676

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