

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“IMPLEMENTACIÓN DE CAUCHO MOLIDO EN LA MEZCLA
ASFÁLTICA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA REGIÓN DE
TACNA 2024”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

**Bach. RENZO ANDERSON AQUINO RAQUI
Bach. ENRIQUE ALONSO MIRABAL HUANACUNI**

TACNA – PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“IMPLEMENTACIÓN DE CAUCHO MOLIDO EN LA MEZCLA
ASFÁLTICA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA REGIÓN DE
TACNA 2024”**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de noviembre de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

SECRETARIO : Mtra. ELVIRA ALVARADO AMONES

VOCAL : Mag. OMAR ARTURO CUTIMBO TICONA

ASESOR : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Renzo Anderson Aquino Raqui y Enrique Alonso Mirabal Huanacuni, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 71216370 y 71195566 respectivamente, así como Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez con DNI 00794213; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: “*Implementación de Caucho Molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región de Tacna 2024*”, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 15 de noviembre de 2024


Renzo Anderson Aquino Raqui
DNI: 71216370


Enrique Alonso Mirabal Huanacuni
DNI: 71195566


Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez
DNI: 00794213

DEDICATORIA

A mis padres, Julio y Carmen, por su amor incondicional y su apoyo en cada paso de este camino.

A mi hermano Renato, por estar siempre a mi lado y darme fuerza cuando más lo necesitaba.

Este logro es tan suyo como mío, gracias por creer en mí.

Les agradezco con todo mi corazón.

Renzo Anderson Aquino Raqui

DEDICATORIA

A mis padres, Patricia Flora Huanacuni Mamani y Jaime Luis Mirabal Copa por la posibilidad que me ofrecieron de estudiar esta maravillosa carrera profesional, por su respaldo continuo, que me impulsa a seguir esforzándome para lograr las metas que me propongo.

A mi hermana, Erika por ser mi fuente de inspiración y apoyo, su constante aliento y confianza han sido fundamentales para conseguir mis mayores logros.

A mis abuelos Isabel, Eulogio y Gabino por apoyarme y brindarme fuerzas para continuar en camino académico.

Enrique Alonso Mirabal Huanacuni

AGRADECIMIENTO

Primero y ante todo, agradecemos a Dios por concedernos vitalidad y fortaleza, elementos esenciales para alcanzar nuestros objetivos.

Extendemos nuestro agradecimiento al Mtro. Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez por su dedicación aplicada y su apoyo como asesor durante la elaboración de este trabajo de investigación.

Asimismo, agradecemos a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna, por ser una fuente invaluable de sabiduría y conocimiento. Su influencia significativa en nuestro desarrollo académico y profesional, así como las experiencias y enseñanzas compartidas, han sido cruciales en el desarrollo profesional y personal.

Renzo Anderson Aquino Raqui

Enrique Alonso Mirabal Huanacuni

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis	5
1.5.1. Hipótesis general	5
1.5.2. Hipótesis específicas	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	7
2.1.3. Antecedentes locales.....	8
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1. Pavimento flexible.....	8
2.2.2. Asfalto.....	9
2.2.3. Caucho molido.....	11
2.2.4. Método Marshall	11
2.2.5. Ensayo Marshall	12

2.3.	Definición de términos	12
2.3.1.	Caucho granulado	12
2.3.2.	Vía	12
2.3.3.	Evaluación de pavimento	13
2.3.4.	Asfalto.....	13
2.3.5.	Bitumen	13
2.3.6.	Ensayo Marshall	13
2.3.7.	Mezcla asfáltica	13
2.3.8.	Pavimentos	13
2.3.9.	Pavimentación	14
CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO		15
3.1.	Diseño de investigación.....	15
3.2.	Acciones y actividades	15
3.2.2.	Ensayos según las normativas	17
3.3.	Materiales y/o instrumentos.....	35
3.3.1.	Granulometría.....	35
3.3.2.	Peso específico y absorción	35
3.3.3.	Peso unitario.....	36
3.3.4.	Contenido de sales solubles	36
3.3.5.	Equivalente de arena.....	36
3.3.6.	Ensayo de chatas y alargadas.....	37
3.3.7.	Ensayo de caras fracturadas	37
3.3.8.	Ensayo de abrasión – MTC E 207	37
3.3.9.	Ensayo de angularidad – MTC E 222	37
3.3.10.	Ensayo Marshall	38
3.4.	Población y/o muestra de estudio.....	38
3.4.1.	Población	38
3.4.2.	Muestra.....	38
3.5.	Operacionalización de variables.....	38
3.6.	Procedimiento análisis de datos.....	39
3.6.1.	Diagrama de flujo de procesos	39
3.6.2.	Descripción del proceso de materiales	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		41
4.1.	Resultados en tablas y/o figuras.....	41
4.2.	Análisis costos que implica que la fabricación con caucho.....	55

CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos para agregado fino	33
Tabla 2. Requisitos para agregado grueso	34
Tabla 3. Gradaciones MAC.....	34
Tabla 4. Parámetros de mezclas bituminosas MTC E 504.....	35
Tabla 5. Operacionalización de variables	38
Tabla 6. Resultados de los agregados.....	42
Tabla 7. Porcentaje de los agregados.....	43
Tabla 8. Peso de los materiales según porcentajes de asfalto	44
Tabla 9. Peso específico Bulk.....	44
Tabla 10. Relación estabilidad / flujo	45
Tabla 11. Peso específico teórico máximo.....	46
Tabla 12. Porcentaje de vacíos.....	46
Tabla 13. Resultados de características Marshall.....	47
Tabla 14. Características Marshall.....	51
Tabla 15. Gravedad específica teórica máxima	51
Tabla 16. Resultado de las probetas adicionando caucho	52
Tabla 17. MAF convecional vs MAF modificada con caucho	53
Tabla 18. Costo de elaboración de mezcla asfáltica convecional	56
Tabla 19. Costo de elaboración de mezcla asfáltica modificada.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Máquina trituradora de caucho.	15
Figura 2. Caucho molido.	16
Figura 3. Agregados.	16
Figura 4. RC-250.	17
Figura 5. Ensayo de granulometría.	18
Figura 6. Ensayo de peso específico y absorción de Ag. Fino.	19
Figura 7. Ensayo de peso específico y absorción de Ag. Grueso.	20
Figura 8. Ensayo de límites.	21
Figura 9. Prueba de Contenido de sales solubles.	22
Figura 10. Prueba de Equivalente de arena.	23
Figura 11. Prueba de Chatas y alargadas.	24
Figura 12. Prueba de Caras fracturadas.	25
Figura 13. Ensayo de abrasión.	26
Figura 14. Martillo de compactación.	27
Figura 15. Muestras de asfalto convencional.	28
Figura 16. Muestras de asfalto con caucho.	28
Figura 17. Muestras en el horno.	29
Figura 18. Alistando la máquina de compactación.	29
Figura 19. Muestras ya compactadas en los moldes.	30
Figura 20. Proceso de extracción de muestras.	30
Figura 21. Muestras.	31
Figura 22. Ensayo Baño maría.	31
Figura 23. Peso de probetas de asfalto con 0,9% de caucho molido añadido.	32
Figura 24. Peso de probetas de asfalto con 0,7% de caucho molido añadido.	32
Figura 25. Ensayo Marshall.	33
Figura 26. Curva granulométrica del agregado fino.	41
Figura 27. Curva granulométrica del agregado grueso.	42
Figura 28. Peso específico en relación con el % de asfalto.	48
Figura 29. Relación con el % de asfalto y vacíos en la mezcla bituminosa.	48
Figura 30. Estabilidad en relación con el porcentaje de asfalto.	49
Figura 31. Vacíos llenos de C.A en relación con el porcentaje de asfalto.	49
Figura 32. Flujo en relación con el % de asfalto.	50
Figura 33. Vacíos en el agregado mineral en relación con el % de asfalto.	50
Figura 34. Comparación de porcentaje de vacíos.	53
Figura 35. Comparación de porcentaje vacíos en el agregado.	54

Figura 36. Comparación de estabilidad.....	54
Figura 37. Comparación Estabilidad / Flujo.	55
Figura 38. Comparación de porcentaje vacíos llenado con asfalto.	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	65
Anexo 2. Formato de ensayo de granulometría	66
Anexo 3. Formato de ensayo de humedad	67
Anexo 4. Formato de ensayo de partículas fracturadas	68
Anexo 5. Formato de ensayo de chatas y alargadas	69
Anexo 6. Formato de ensayo equivalente de arena.....	70
Anexo 7. Formato ensayo peso específico	71
Anexo 8. Formato de ensayo de sales solubles.....	72
Anexo 9. Formato método Marshall	73

RESUMEN

Este estudio aborda un problema medioambiental crítico en la ciudad de Tacna, donde la quema de llantas contribuye negativamente al calentamiento global. Dada a esta urgencia, se propone una solución innovadora y ecológica: reutilizar las llantas desechadas para crear una mezcla asfáltica que pueda ser utilizada en pavimentos flexibles. El proyecto tiene como objetivos evaluar la viabilidad económica de implementar caucho molido reciclado en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna, determinar las ventajas de aplicar caucho molido reciclado en la mezcla asfáltica, y analizar la factibilidad de esta propuesta ecológica, midiendo su impacto ambiental y su potencial de implementación en la región. Por otra parte, el caucho fue extraído de llantas desechadas en una fábrica de reencauchadora y luego fue molido para ser incorporado en la mezcla asfáltica. Se prepararon mezclas con diferentes porcentajes de caucho (0 %, 0,5 %, 0,7 %, 0,9 %, 2 %) y se realizaron ensayos Marshall para evaluar su rendimiento. Los resultados mostraron que un porcentaje del 0,9 % de caucho molido es óptimo para la mezcla asfáltica destinada a pavimentos de tránsito mediano. Este porcentaje logró una disminución del 2 % en los vacíos y un aumento del 7,76 % en la estabilidad de la mezcla. El flujo y el porcentaje de vacíos llenos mantuvieron valores adecuados, lo que indica un buen comportamiento de la mezcla. La incorporación de caucho molido en la mezcla asfáltica no solo es viable económicamente, sino que también presenta ventajas significativas en términos de durabilidad y resistencia del pavimento. Se recomienda considerar esta propuesta ecológica como una opción para futuras construcciones en la región de Tacna, dado su potencial para reducir la contaminación y mejorar la calidad de los pavimentos.

Palabras clave: mezcla asfáltica; caucho molido reciclado; ensayo Marshall.

ABSTRACT

This study addresses a critical environmental problem in the city of Tacna, where tire burning contributes negatively to global warming. Given this urgency, an innovative and ecological solution is proposed: reusing discarded tires to create an asphalt mix that can be used in flexible pavements. The project aims to evaluate the economic viability of implementing recycled ground rubber in the asphalt mix for flexible pavements in the Tacna region, determine the advantages of applying recycled ground rubber in the asphalt mix, and analyze the feasibility of this ecological proposal, measuring its environmental impact and its potential for implementation in the region. Furthermore, rubber was extracted from discarded tires in a retreading factory and then ground to be incorporated into the asphalt mix. Mixtures with different percentages of rubber (0 %, 0,5 %, 0,7 %, 0,9 %, 2 %) were prepared and Marshall tests were performed to evaluate their performance. The results showed that a 0.9% percentage of ground rubber is optimal for the asphalt mixture intended for medium-traffic pavements. This percentage achieved a 2 % decrease in voids and an 7,76 % increase in the stability of the mixture. The flow and the percentage of filled voids maintained adequate values, indicating a good behavior of the mixture. The incorporation of ground rubber in the asphalt mixture is not only economically viable, but also presents significant advantages in terms of pavement durability and resistance. It is recommended to consider this ecological proposal as an option for future constructions in the Tacna region, given its potential to reduce pollution and improve pavement quality.

Keywords: asphalt mixture; recycled ground rubber; Marshall test.

INTRODUCCIÓN

Tacna, situado en el sur más extremo de Perú, se enfrenta a una serie de desafíos urbanos complejos, fruto del acelerado crecimiento poblacional, el florecimiento económico y el inevitable incremento del número de vehículos. Este escenario ha desencadenado una serie de problemas interconectados que afectan al bienestar de los habitantes. Entre estos, la congestión del tráfico, deterioro de las infraestructuras viales y la creciente contaminación ambiental se han convertido en cuestiones urgentes, que requieren respuestas creativas y sostenibles.

Este trabajo de tesis denominado: “Implementación de caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región de Tacna 2024”, abarca los problemas que existen hoy como la contaminación por polímeros y la deficiente serviciabilidad de las vías en la ciudad de Tacna. Asimismo, se expone cómo la utilización de caucho molido se presenta como una opción superior para la construcción de pavimento flexible en las vías de Tacna.

También establece un método de investigación utilizado para comparar el pavimento flexible tradicional con el pavimento modificado, la muestra, la operacionalización de variables, y las estrategias de obtención de datos. Los comportamientos se analizarán mediante el método Marshall para evaluar la capacidad y las propiedades del pavimento modificado.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En Perú y en gran parte del continente, se enfrenta una problemática vehicular considerable que surge de diversos factores. En esta tesis, nos centraremos en la localidad de Tacna, al igual que muchas otras regiones del país, enfrenta las siguientes dificultades.

Comenzando con la congestión vehicular, la ciudad de Tacna ha registrado un incremento en el número de vehículos en los últimos años, atribuible al crecimiento poblacional y al desarrollo económico. Este aumento ha generado un incremento en la congestión durante las horas pico, afectando la eficiencia de los desplazamientos y deteriorando el bienestar de los habitantes. Además, las condiciones de las carreteras y calles en Tacna han experimentado un continuo deterioro debido a la falta de mantenimiento adecuado, las condiciones climáticas extremas, el tráfico pesado y el desgaste constante de las vías. Todo ello eleva los costos de reparación y compromete la seguridad vial.

El aumento del tráfico vehicular, junto a acumulación de residuos polímeros ha llevado a un aumento en la contaminación del ambiente en Tacna. Las emisiones de gases de escape provenientes de los vehículos afectan negativamente la calidad del aire, lo que puede acarrear consecuencias adversas tanto para el bienestar de los habitantes como para el medio ambiente. La ausencia de un sistema eficaz de gestión de residuos y la proliferación de plásticos y polímeros en el entorno urbano agravan la contaminación y suscitan serias preocupaciones ambientales.

Un pavimento sostenible que emplee materiales reciclados, como los polímeros naturales y sintéticos, puede desempeñar un papel fundamental en la mitigación de estos problemas. La incorporación de polímeros reciclado en pavimentos no solo puede ofrecer una mayor duración y resistencia al deterioro, reduciendo así la frecuencia de reparaciones y, por ende, los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo, sino que también contribuye a un impacto ambiental reducido. El uso de polímeros reciclados en construcción de pavimentos disminuye la cantidad de polímeros no biodegradable en vertederos y en el entorno urbano, además de minimizar la necesidad de extraer recursos naturales para la elaboración de carreteras.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influirá la implementación de caucho molido en la mejora de la mezcla asfáltica de los pavimentos flexibles en la región de Tacna en 2024?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Será económicamente viable implementar el caucho molido a la mezcla de pavimentos flexibles en la región de Tacna adicionando caucho molido reciclado?
- b. ¿Cuáles serían las principales ventajas de aplicar caucho molido reciclado en la mezcla asfáltica en pavimentos flexibles de la región de Tacna 2024?
- c. ¿Será factible aplicar propuesta ecológica, implementación de caucho molido reciclado en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna?

1.3. Justificación e importancia

a. Justificación ambiental

Se basa en la creciente preocupación por los impactos medioambientales negativos de los residuos plásticos y la necesidad de abordar esta problemática. Los residuos plásticos son una fuente significativa de contaminación en todo el mundo, y su gestión inadecuada tiene graves consecuencias para los ecosistemas y la vida marina. Incorporar plástico reciclado en la mezcla asfáltica ofrece una solución sostenible.

Esta propuesta promueve la reutilización de materiales que de otro modo se consideran residuos, esto mitiga la demanda sobre los recursos naturales y reduce significativamente la cantidad de plástico que acaba en vertederos y cuerpos de agua. Al proyectar una mejor utilización de estos materiales, se promueve la disminución de la contaminación ambiental y el impulso de prácticas sostenibles en la construcción de infraestructura vial.

b. Justificación social

Desde una perspectiva social, añadir caucho molido a la mezcla prolonga el intervalo de mantenimiento de las carreteras al mejorar su durabilidad y rendimiento a lo largo

del tiempo, lo que optimiza la transitabilidad y protege el medio ambiente. Esto trae beneficios para los residentes de la zona en cuestión.

c. Justificación económica

El diseño de una mezcla asfáltica ecológica conlleva un impacto positivo en varios aspectos. En primer lugar, al reutilizar el plástico reciclado, se contribuye a la reducción de residuos plásticos, que son un problema creciente en muchas regiones.

Además, la investigación permite demostrar la optimización de costos en la construcción y el uso prolongado del pavimento mejorado. Esto tiene un impacto económico significativo, ya que se generan ahorros a largo plazo para las autoridades viales y, en última instancia, para la población en general. Menos gastos en mantenimiento y reparaciones frecuentes se traducen en una infraestructura vial más sostenible desde una perspectiva económica y en una menor interrupción del tránsito, lo que enriquece el bienestar de las personas.

d. Justificación científica

La tesis aborda el desafío de mejorar la transitabilidad en las vías de Tacna mediante la implementación de caucho molido en pavimentos flexibles. Esta investigación llena un vacío de conocimiento específico sobre la aplicación de materiales reciclados en regiones proponiendo una solución sostenible y efectiva para el control de desechos sólidos y la mejora de la infraestructura vial. Además, desarrolla nuevos métodos para la recolección y evaluación exhaustiva de datos sobre la eficacia de estos pavimentos, con un potencial impacto favorable tanto en la economía como en el entorno medioambiental local.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar caucho molido reciclado para mejorar la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar la viabilidad económica al implementar el caucho molido reciclado a la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna.

- b. Determinar cuáles serían las principales ventajas de aplicar caucho molido reciclado en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024.
- c. Analizar la factibilidad a la propuesta ecológica, implementación de caucho molido reciclado en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La implementación de caucho molido logra favorablemente mejorar la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. Es económicamente viable implementar el caucho molido a la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna
- b. Las principales ventajas de aplicar caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024 son: Vida útil e impacto ambiental
- c. La propuesta de implementación de caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna es la mejor

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Rojas, Noela (2019), en su estudio "Diseño de pavimento modificado con la adición de plástico reciclado para ciclovías", la ciudad de Cuenca, en Ecuador, ha visto un incremento notable en su comunidad y en el número de vehículos en los últimos años. Este crecimiento ha generado efectos adversos en la polución y las emisiones de gases tóxicos. Con el objetivo de fomentar una comunidad más ecológica, las delegaciones del transporte están incrementando sus esfuerzos para optimizar el programa de movilidad en todas las formas de transporte, incluyendo las bicicletas. Un fragmento esencial de esta planificación consiste en la integración de un amplio sistema de carriles de bicicletas en toda la comunidad. No obstante, la construcción de dicha red podría intensificar el problema de contaminación ambiental si se emplea pavimento flexible convencional. Para evitar este potencial inconveniente, el documento propone un diseño de pavimento flexible que priorice ser más ecológico, incorporando plástico molido reciclado en la mezcla sin comprometer las prestaciones requeridas. Esta tesis prioriza el desarrollo de un diseño de asfalto modificado que integra plástico PET triturado, el cual, de otro modo, se convertiría en desecho. Esta variante de asfalto modificado cumple con las normativas de construcción de las mezclas asfálticas que se proyectan en los carriles de bicicletas y espacios públicos de Cuenca.

Cardoza-Zambrano (2019), en su artículo titulado "Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad en Colombia", en esta investigación se propuso analizar la utilización del grano de caucho molido reciclado en mezclas asfálticas en Colombia, donde se ha observado un avance significativo en términos de beneficios ambientales y económicos. La metodología empleada fue descriptiva y documental, basada en la revisión de estudios previos que incluyeron pruebas con estos materiales y el análisis de sus resultados. Se ha evidenciado que la implementación de esta tecnología innovadora es fundamental para enfrentar los problemas mecánicos recurrentes en el pavimento flexible, al mismo tiempo que mitiga los choques negativos sobre el medio ambiente procedentes de una gestión inadecuada de las llantas desechadas al final de su vida útil. La investigación, de carácter descriptivo y documental, concluye que la incorporación de asfalto con partículas de caucho reciclado es realizable. Aunque el coste inicial de este asfalto modificado resulta ser superior al de una mezcla convencional, este incremento se ve

compensado por la reducción de los costos de mantenimiento a comparación con las mezclas convencionales.

Navarro (2020), en su tesis titulada "Diseño de la estructura de pavimento flexible con Agregados Reciclados y Geosintéticos, aplicando la metodología mecanicista, para la Av. Ferrocarril de Occidente entre Av. Boyacá y Av. Agoberto Mejía en Colombia", el objetivo fue llevar a cabo una caracterización exhaustiva del suelo de subrasante, los geosintéticos y las mezclas asfálticas para evaluar su aplicación en la estructura de pavimento. La investigación se clasifica como aplicada. Los resultados concluyen que, empleando la metodología mecanicista, se diseñaron dos alternativas viables para la estructura de pavimento flexible utilizando una serie de Agregados que son reciclados y geosintéticos para la Av. Ferrocarril de Occidente, entre Av. Boyacá y Av. Agoberto Mejía en Bogotá. Se recomienda la construcción de la alternativa número 2, dado que la incorporación de la Geocelda en la capa de AR_BG incrementa el módulo del material y reduce el fallo por fatiga en la capa asfáltica, lo que permite una reducción de 1 cm en el espesor en comparación con la alternativa número 1.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Contreras y Zúñiga (2020), en su tesis titulada "Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas", el propósito de la investigación fue realizar una evaluación sobre el impacto de los plásticos reciclados (PET) en las características mecánicas de las mezclas asfálticas en frío modificadas, así como el equilibrio o estabilidad de vacíos y el flujo que vendría a ser el desplazamiento, apoyándose en estudios previos. Las conclusiones del estudio revelan que la integración de plástico reciclado en la mezcla permite alcanzar un equilibrio superior a la óptima, además de ofrecer una disminución en el presupuesto en comparación con las mezclas convencionales de asfalto.

Santos (2021), en su tesis titulada "Diseño del pavimento flexible incorporando plástico reciclado en la Avenida Huayna Cápac, Santa Rosa 2020", el objetivo fue realizar un estudio de la circulación para el diseño del pavimento flexible en dicha avenida. Se utilizó una metodología aplicada para llevar a cabo esta investigación. Las conclusiones del estudio indican que, debido al alto volumen de tráfico, la integración de plástico reciclado (PET) puede mejorar representativamente la estabilidad del pavimento. Sin embargo, esta mejora en estabilidad podría tener un efecto adverso sobre otras características mecánicas, como la relación de vacíos y el flujo de la mezcla asfáltica.

Chochabot (2020), en su tesis titulada "Diseño de pavimento flexible adecuado para carpeta asfáltica mejorada adicionando residuos plásticos reciclados en Lomas de Carabaylo – Lima - 2020", el propósito fue diseñar un asfalto utilizando plástico reciclado que mejore satisfactoriamente la resistencia de la mezcla asfáltica frente a las cargas comunes en los diferentes tipos de carreteras. Se utilizó una metodología aplicada con un diseño no experimental. Los efectos demostraron que al incorporar un 5.45% de plástico reciclado molido en una capa asfáltica de 5 cm de espesor, se obtiene una mayor rigidez, concluyendo que el pavimento modificado proporciona una mayor durabilidad.

2.1.3. Antecedentes locales

Capcha (2018), en su tesis titulada "Diseño de mezcla asfáltica con incorporación del caucho reciclado, Tacna 2018", en el contexto actual del Perú, hacer diseños de mezcla asfáltica aplicando la normativa de construcción de carreteras son cruciales para un país en continuo crecimiento. En contraste con los países europeos, que reciclan casi el 99 % de los neumáticos ya desgastados, América lo hace en un 69 % (Colpatria, 2015). La tesis tuvo como propósito evaluar el resultado de implementar caucho reciclado como aditivo en una mezcla asfáltica modificada, buscando mejorar la adherencia, durabilidad y aguante al declive y a las deformaciones plásticas. La metodología empleada fue aplicada. Las conclusiones indican que las partículas de caucho reciclado (GCR) mejoran significativamente las características físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica, lo cual fue confirmado mediante el método Marshall, aplicando el proceso de vía seca.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Pavimento flexible

Monsalve et al. (2012) dice, que estos pavimentos consisten en una capa bituminosa que generalmente se coloca encima de 2 capas flexibles: la subbase y la base. No obstante, es posible prescindir de una capa, esto se debe a los requisitos independientes de cada proyecto.

❖ Subbase granular

- Capa de transición: El diseño de la subbase debe de ser el adecuado, para que actúe como filtro evitando que se contamine la base con la subrasante (finos), en consecuencia, preserva su integridad.
- Resistencia: La subbase debe resistir las fuerzas originadas por las cargas vehiculares, que se transmiten mediante las capas superiores y se distribuyen de manera eficiente hasta alcanzar el nivel óptimo en la subrasante.
- Minimización de la deformación: Las alteraciones volumétricas en la capa subrasante, comúnmente originadas por fluctuaciones en el agua (dilataciones) o variaciones en la temperatura externa, son capaces de ser amortiguadas por la subbase. Esto evita que se reflejen en la carretera las alteraciones.

❖ Base granular

- Resistencia: Su función principal es ofrecer una capa sólida que transmita de manera eficaz las cargas vehiculares a la subrasante y subbase.

❖ Carpeta Asfáltica

- Capa de rodadura: Debe de garantizar una área uniforme y seguro para el tráfico, con una textura y tonalidad adecuadas. Además, debe soportar el desgaste provocado por el paso de vehículos.
- Resistencia: La capacidad estructural del pavimento se ve reforzada por su resistencia a la tensión.
- Impermeabilidad: En la medida de lo posible, se debe evitar la infiltración de agua dentro del pavimento.

2.2.2. Asfalto

Según Salazar et al. (2012) define asfalto como un material orgánico de color negro y consistencia pegajosa, proveniente del proceso de refinación del petróleo. Dado el elevado volumen de petróleo procesado para la obtención de combustibles, es necesario encontrar formas de utilizar este subproducto, que de otro modo tendría que ser almacenado o empleado como combustible. Cabe destacar que el asfalto posee propiedades naturales que lo hacen ideal para mezclarse con agregados. Entre sus

características más notables se incluyen su naturaleza viscoelástica, su estado sólido a temperatura ambiente y su alta impermeabilidad. Estas propiedades lo han convertido en un material fundamental para la creación de superficies de rodadura en vías.

❖ **Propiedades Físicas:**

El asfalto es un aglomerante que se distingue por su notable capacidad de resistencia, adhesión elevada, impermeabilidad y durabilidad. Tiene la capacidad de soportar esfuerzos intensos de manera inmediata y de adaptarse al flujo bajo la influencia del calor o cargas prolongadas. Se encuentra de manera natural disuelto en la mayoría de los petróleos y se extrae como un subproducto del proceso de destilación. Este material plástico confiere una flexibilidad precisa a las combinaciones de agregados con las que se mezcla. La tonalidad alterna entre el marrón oscuro y el negro, y su textura puede presentar formas sólidas, semisólidas o líquidas, según la temperatura, la acción de disolventes con diversas volatilidades o el proceso de emulsificación. (Rodríguez & Ayala, 2005)

❖ **Composición Química:**

Durante la purificación, los hidrocarburos ligeros se borran, dejando únicamente los más densos y de estructura molecular intrincada. Al borrar estos los más ligeros, los pesados van a dejar de estar en dispersión y se adhieren a otros elementos, logrando aumentar su tamaño en función del grado de destilación aplicado. Las moléculas más ligeras constituyen la fase dispersante o continua. (Rodríguez & Ayala, 2005)

Clasificación del asfalto para pavimentación:

- ❖ **Cemento asfáltico:** Este tipo de asfalto es el más célebre y empleado; se caracteriza por ser un material viscoelástico que se endurece a menores temperaturas y se vuelve líquido a elevadas temperaturas. El A.C. (Asphalt Cement), se extrae a través de la purificación del crudo.
- ❖ **Asfaltos líquidos:** Los "Cut Backs," se componen de una base de cemento asfáltico mezclada con un fluido volátil. Se añade un solvente para reducir la viscosidad del asfalto, lo que simplifica su mezcla y aplicación con los agregados.
- ❖ **Emulsiones asfálticas.** Es un sistema heterogéneo constituido por dos fases no miscibles: agua y asfalto. Se incorpora a este sistema un agente activador de superficie, como un tensioactivo o emulsificante de tipo jabonoso, que conserva dispersos los diminutos glóbulos de asfalto en la fase continua de agua. Las emulsiones asfálticas deben tener una polaridad,

ya sea negativa o positiva, y se denominan emulsiones aniónicas o catiónicas según corresponda.

2.2.3. Caucho molido

Según (Urrego, 2014) el caucho natural es un polímero de alto peso molecular que se forma a través de la polimerización del isopreno, dando lugar a una macromolécula con configuración cis. Aunque es posible obtener una configuración trans del poli isopreno, esta no tiene aplicaciones tecnológicas debido a su elevado nivel de cristalinidad, lo que la hace muy rígida. El caucho natural forma parte del grupo de materiales poliméricos llamados elastómeros y tiene propiedades excepcionales que lo hacen ideal para aplicaciones de ingeniería avanzada, como en neumáticos, resortes y en las industrias naval y aeronáutica.

Por otro lado, el grano de caucho reciclado es un recurso novedoso que se utiliza para mejorar la resistencia de los pavimentos flexibles y aumentar su sostenibilidad. Este material es económico porque, al finalizar su vida útil, el caucho se vuelve obsoleto y perjudicial para el medio ambiente, por lo que su adquisición no genera costos, solo el procesamiento. Además, su implementación favorece al medio ambiente al reducir la contaminación causada por la quema de caucho, que libera CO₂ al aire al final de su ciclo de vida (Zambrano, 2019).

2.2.4. Método Marshall

Según (Muñoz, 2013), Bruce Marshall fue el creador del concepto del método Marshall.

Tras una minuciosa investigación de pruebas de tránsito y análisis en laboratorio, se optó por asumir y perfeccionar el método Marshall para el diseño y control de mezclas bituminosas en pavimentos, en parte debido a la conveniencia de utilizar equipos portátiles.

El objetivo primordial de este método es identificar la composición ideal de asfalto que se debe de usar para una mezcla particular, también debe ofrecer datos de sus propiedades en las mezclas asfálticas en caliente. Además, establece las densidades y los niveles óptimos de vacíos necesarios para su adecuada construcción.

Emplea probetas estandarizados de 68 mm de espesor y de diámetro 101 mm, elaborados con una mezcla particular de agregados y diversos tipos de asfalto, siguiendo un método preciso para elevar la temperatura, combinar y condensar las

mezclas asfálticas de áridos. Los aspectos más relevantes obtenidos mediante el método Marshall comprenden el estudio de conexión entre espacios vacantes y compacidad, así como la evaluación de equilibrio y comportamiento de las muestras compactadas al fluir.

Según (Monsalve, 2012) el método está diseñado para mezclas con tamaños máximos de hasta 34 mm, aplicable tanto en un ensayo científico, y es particularmente adecuado para mezclas de gradación densa. Sin embargo, la alteración de los procedimientos estándar puede comprometer la exactitud de los resultados en cuanto a la previsión del desempeño en la práctica debido a la naturaleza empírica de la prueba de estabilidad. Se utiliza probetas estándar de 68 mm de altura y de diámetro 101 mm para el método Marshall, estas se elaboran conforme a un protocolo detallado para el calentamiento, mezcla y compactación de las mezclas asfálticas (según ASTM D1559). La revisión de la relación entre vacíos y densidad, y la evaluación de la estabilidad, así también el flujo de probetas consolidadas son los aspectos a considerar.

2.2.5. Ensayo Marshall

Según (Rondón, 2015) este procedimiento implica la preparación de al menos tres muestras compactadas en golpes de 25, 50 y 75 por cada cara, para cada nivel de tráfico previsto. Se utiliza una granulometría específica y porcentajes de asfalto entre 4,5 % y 7,0 %. La temperatura de mezcla bituminosa a alta temperatura o (MAC) se determina a través de pruebas de la prueba de viscosidad del cemento asfáltico. Los agregados deben tener una temperatura adecuada para evitar la presencia de humedad y proteger la cohesión del asfalto, previniendo su oxidación prematura.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Caucho granulado

Se deriva principalmente de neumáticos reciclados de vehículos y camiones (Castells, 2014).

2.3.2. Vía

El tránsito se desarrolla en la vía. El término "vía" engloba cualquier calle, carretera o sendero accesible al público en general, así como también cualquier ruta privada destinada a un grupo específico de usuarios (Rivas, 2023).

2.3.3. Evaluación de pavimento

El propósito principal de estas pruebas es calcular los módulos elásticos de niveles de pavimentación (SciELO, 2014).

2.3.4. Asfalto

Es ideal para el contacto entre las autopistas y los neumáticos debido a su impermeabilidad, adherencia y cohesión, así como su resistencia a esfuerzos puntuales (García, 2023).

2.3.5. Bitumen

El Bitumen, también conocido como asfalto, se utiliza principalmente para pavimentar carreteras y calles (Max, 2020).

2.3.6. Ensayo Marshall

El análisis Marshall facilita la creación de infraestructuras viales superiores. La proporción de asfalto empleada se ve modificada por su utilización, dado que debe poseer una estabilidad y una deformabilidad adecuadas en relación con las características del terreno (Emesa, 2022).

2.3.7. Mezcla asfáltica

Es una composición de partículas minerales unidas por un aglutinante asfáltico, y se mezcla de forma que cada partícula quede uniformemente revestida con una capa de asfalto (Anguas, 2005).

2.3.8. Pavimentos

Es una estructura establecida sobre la subrasante de la carretera, destinada a sostener y repartir las fuerzas generadas por el tráfico vehicular, así como a optimizar la protección y el bienestar durante la circulación (Choque, 2021).

2.3.9. Pavimentación

La pavimentación es el proceso de crear o instalar un revestimiento en una carretera, calle u otro espacio público o privado. La pavimentación busca proporcionar una superficie lisa y uniforme capaz de soportar tanto el tráfico vehicular como peatonal (Frapial, 2023).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. Diseño de investigación

En este caso el diseño es experimental porque investiga si la adición de caucho molido mejoró la durabilidad y sostenibilidad del pavimento en Tacna. Realizamos ensayos de laboratorio detallando los procedimientos y tecnologías empleadas.

3.2. Acciones y actividades

3.2.1. Obtención de materiales

a. Caucho

El material se obtuvo de la empresa “Fronsur” ubicada en la av. Industrial, la empresa se dedica a la recolección de llantas en desuso para luego proceder a triturarlas, se hizo la compra un saco de caucho triturado de 20 kg a 20 soles (referida a figura 1 y 2).

Figura 1

Máquina trituradora de caucho



Nota. Máquina casera utilizada por la empresa FRONSUR.

Figura 2*Caucho molido*

Nota. El caucho molido en diversos tamaños.

b. Agregados

El material granular para la mezcla asfáltica se obtuvo de la cantera Arunta (referida a figura 3).

Figura 3*Agregados*

Nota. Estos recursos destacan por su resistencia, durabilidad y versatilidad, extraídos de la cantera Arunta.

c. Asfalto

El RC-250 para la mezcla asfáltica fue donada por el proveedor de asfalto (referida a figura 4).

Figura 4

RC-250



Nota. Asfalto líquido de curado rápido, generalmente aplicado para mezclas en frío, que asegura buena adhesión y rápida evaporación. Mas usado en Tacna y Moquegua.

3.2.2. Ensayos según las normativas

3.2.2.1. Ensayo de Granulometría del Fino y Grueso

Según la norma MTC E 204, NTP 400.012.

Equipo y herramientas

Cribas con ranuras según la normativa, frascos, cepillos hojas bond.

Desarrollo de la prueba

La muestra debe estar seca. Se eligieron los tamices y se ordenaron en forma decreciente según el tamaño de su abertura. Es importante controlar la proporción del elemento a filtrar con el fin que los fragmentos presenten la oportunidad de ser retenidas, evitando sobrecargar el tamiz. Luego, se procedió con el tamizado y se determinó la masa retenida en cada criba (referida a figura 5).

Figura 5

Ensayo de granulometría



Nota. El ensayo determina la distribución del tamaño de las partículas del agregado grueso y fino, ayudándose de los tamices.

3.2.2.2. Prueba peso específico y absorción de Ag. Fino

Norma aplicada

MTC E 205 Y NTP 400.022.

Equipos y herramientas

Horno, matraz, molde en forma de cono, barra para compactación y balanza.

Desarrollo de la prueba

Se llenó el matraz con la materia y agua, agitándola durante unos 15 minutos para eliminar los globos de aire. Luego, se reguló los grados térmicos del frasco y de la

sustancia, se completa el llenado hasta el borde, y se midió el peso total del frasco, la muestra y el agua. Finalmente, se retiró el agregado del frasco, se secó y se volvió a pesar (referida a figura 6).

Figura 6

Ensayo de peso específico y absorción de Ag. Fino



Nota. Ensayos que determinan la densidad y la capacidad de retener agua del material, esenciales para evaluar su calidad en mezclas asfálticas.

3.2.2.3. Prueba peso específico y Absorción de Ag. Grueso

Norma aplicada

MTC E 206 Y NTP 400.021.

Equipos y herramientas

Horno, vasijas para el agua, tamices n°4 y balanza

Desarrollo de la prueba

Eliminamos la humedad de la muestra, luego sumergimos en agua durante 24 horas, luego se retiró y se secó superficialmente con un paño. Se pesó la muestra mientras

aún está superficialmente seca, se colocó en una rejilla metálica y se midió la masa en agua. Finalmente, se secó completamente para volver a pesarla (referida a figura 7).

Figura 7

Ensayo de peso específico y absorción de Ag. Grueso



Nota. Este ensayo evalúa el peso específico (en sus distintas condiciones) y la capacidad del material para absorber agua.

3.2.2.4. Prueba de limite líquido

Normativa aplicada

MTC E 110 Y NTP 339.129.

Equipos y herramientas

Un envase, balanza, copa Casagrande, calibrador, acanalador, espátula, agua destilada

Desarrollo de la prueba

Se situó la muestra en la copa Casagrande y con ayuda de la espátula se uniformizó. Luego, utiliza la abertura para hacer una apertura desde el punto más alto al más bajo. Se giró la manivela a una velocidad de 1.9 a 2.1 impactos por segundo, logrando que la abertura se cierre, y se registraron los golpes requeridos para lograrlo. Después, mezcla

nuevamente la muestra completa, añadimos agua destilada y repetimos el procedimiento para obtener un sellado en 25 a 35 golpes, luego en 20 a 30 golpes, y finalmente en 15 a 25 golpes. (referida a figura 8).

Figura 8

Ensayo de límites



Nota. Prueba que determina el límite líquido y plástico de los materiales que componen la mezcla asfáltica.

3.2.2.5. Prueba de Contenido de sales solubles

Normativa aplicada

MTC E 219, Manual de carreteras – Perú

Equipos y herramientas

Matraz, mechero, vaso precipitado, cocina eléctrica, balanza, plancha de calentamiento probeta y una pipeta.

Desarrollo de la prueba

Se requirió de una muestra sin humedad, que se depositó en el vaso precipitado y se cubrió con agua destilada. La mezcla se agito durante 1 minuto, repitiendo este proceso 4 veces en un periodo de 10 minutos. A continuación, se permitió que la mezcla

reposara y se repite el procedimiento. Después, se transfirió los líquidos reposados en un matraz y se tomó una porción de entre 50 ml y 100 ml. Finalmente, esta porción se llevó al horno y se pesó después de secarse (referida a figura 9).

Figura 9

Prueba de Contenido de sales solubles



Nota. Se determina la cantidad y tipo de sales disueltas presentes en los agregados. Esto se expresa generalmente como un porcentaje del peso del material seco o en términos de concentración.

3.2.2.6. Prueba de Equivalente de arena

Normativa aplicada

MTC E114 Y NTP 339.146:2000.

Equipos y herramientas

Tapa de plástico, horno, embudo, botellas de solución, papel filtro, plato plano, probeta, reloj y tamiz N° 4.

Desarrollo del ensayo

Se tamizó por la malla N°4 la muestra del suelo sin humedad, se usó 100 gr para el ensayo. Se añadió agua destilada en la probeta a una altura específica, después se introdujo la muestra en la probeta ayudándose del embudo. La muestra se dejó

estabilizar durante 10 minutos. En este tiempo, se agito la muestra de forma horizontal, es decir con 90 desplazamientos en 30 segundos. Tras agitarla, se dejó estabilizarla por 20 min más. Al finalizar este tiempo, se registraron las medidas de granulometría y arena. Finalmente, al obtener estos datos se calculó según el reglamento (referida a figura 10).

Figura 10

Prueba de Equivalente de arena



Nota. Ensayo que mide la cantidad de finos no plásticos en los agregados.

3.2.2.7. Prueba de Chatas y alargadas

Normativa aplicada

ASTM 4791.

Equipos y herramientas

Calibrador, balanza y equipo para ensayar las partículas

Desarrollo de la prueba

Las partículas de agregados pétreos, con tamaños definidos por mallas específicas, se evaluaron para determinar la relación entre su ancho y espesor, así como la proporción entre su longitud y ancho o longitud y espesor, de acuerdo con una norma establecida. A partir de estas mediciones, se calcularon las fracciones de partículas chatas y alargadas, estas se evaluaron según el porcentaje máximo permitido para la MAF. Se

considera que un fragmento es chata y alargada si cumple con la relación $e/L < 1/5$, donde "e" es el espesor y "L" la longitud (referida a figura 11).

Figura 11

Prueba de Chatas y alargadas



Nota. Es un procedimiento utilizado para evaluar la forma de los agregados gruesos en función de su relación de dimensiones y determina cuántas partículas del material tienen una forma "chata" o "alargada".

3.2.2.8. Prueba de Caras fracturadas

Normativa aplicada

ASTM E 11, ASTM C136, ASTM C125, ASTM D75, ASTM 4791, ASTM C670 Y ASTM C702.

Equipos y herramientas

Una balanza, dispositivo de calibración.

Desarrollo de la prueba

Se requirió una muestra previamente secada en horno, luego se clasificaron las partículas con caras fracturadas en tres categorías: planas, alargadas y aquellas que

no son ni planas ni alargadas. Una vez realizadas las clasificaciones y agrupaciones, se procedió a contar o pesar cada una de las partículas (referida a figura 12).

Figura 12

Prueba de Caras fracturadas



Nota. Ensayo que evalúa la cantidad de caras rugosas o fracturadas en los agregados, lo que mejora la adherencia y estabilidad de las mezclas asfálticas.

3.2.2.9. Prueba de Angularidad

Normativa aplicada

National Aggregates association, MTC E 222.

Desarrollo de la prueba

En este ensayo, se tomó en cuenta el material que pasa a través del N°8 y queda retenido en N°200. Posteriormente, se calculó la densidad específica del material. Finalmente, se llena un embudo con arena hasta alcanzar un volumen conocido y se procedió a pesarla.

3.2.2.10. Prueba de Abrasión los Ángeles

Normativa aplicada

NTP 400.019 Y MTC E 207.

Equipos y herramientas

Tamiz, balanza calibrada, villas de acero normadas y Maquina los Ángeles.

Desarrollo de la prueba

La muestra, con las esferas de acero, se colocaron en la máquina de Los Ángeles, donde rota a una rapidez entre 30 y 33 revoluciones por minuto durante un total de 500 vueltas. Luego, se descargó el material, se tamizó y se lavó el material de mayor tamaño utilizando una malla de 1,70 mm. Finalmente, se deshidrató en un horno y se pesa (referida a figura 13).

Figura 13

Ensayo de abrasión



Nota. Prueba que mide la resistencia de los agregados a la abrasión, asegurando su durabilidad y desempeño en mezclas asfálticas.

3.2.2.11. Resistencia de mezclas bituminosas empleando Dispositivo Marshall

Normativa Aplicada

ATM D6927, ASTM D6926, ASTM D-1559, AASHTO T225 Y MTC E 504.

Equipos y herramientas

Molde cilíndrico muestras, soporte, anillos, separador de muestras, apisonadores, base de apisonamiento, soporte para molde de muestras, horno, equipo de mezclado,

recipientes de metal, cuchara metálica, termómetro, báscula, protección para las manos, e instrumentos para ensayos de estabilidad y flujo.

Desarrollo de la Prueba

Los agregados se prepararon colocándose en un horno a una temperatura constante. A continuación, se pesó todos los componentes para obtener al menos 3 o 4 muestras consolidadas. Los materiales se vertieron en un contenedor y se mezclaron en caliente. Luego, se formó un hueco en el centro de la mezcla para añadir el cemento asfáltico, que se mezcla con una espátula durante unos 120 segundos para múltiples especímenes. Los moldes cilíndricos de metal se colocaron en el horno para calentarlos, antes de realizar la prueba. Así mismo, la placa tiene que estar entre 90°C y 150°C de temperatura. Abajo del molde de metal, se colocó un papel filtro, vertimos la mezcla y se perforó 10 veces. Se colocó un papel encima y se tapó. El paso final es compactar la muestra con el apisonador.

Figura 14

Martillo de compactación



Nota. Para simular la compactación del pavimento, asegurando la densidad y estabilidad del material en el proceso de construcción.

Figura 15*Muestras de asfalto convencional*

Nota. Muestras con porcentajes de 4,5 % , 5 % , 5,5 % , 6 % , 6,5 % y 7 %.

Figura 16*Muestras de asfalto con caucho*

Nota. Muestras con porcentajes de 0,5 % , 0,7 % , 0,9 % y 2 %.

Figura 17*Muestras en el horno*

Nota. Proceso de calentamiento de las muestras.

Figura 18*Alistando la máquina de compactación*

Nota. Compactando las probetas de asfalto añadido con caucho con 50 golpes por cada cara de la probeta.

Figura 19

Muestras ya compactadas en los moldes



Nota. Muestras que han sido colocadas y comprimidas en moldes.

Figura 20

Proceso de extracción de muestras



Figura 21*Muestras*

Nota. Probetas con caucho.

Figura 22*Ensayo Baño maría*

Nota. Baño María hacia las probetas con caucho a 25 ° C.

Figura 23

Peso de probetas de asfalto con 0,9 % de caucho molido añadido



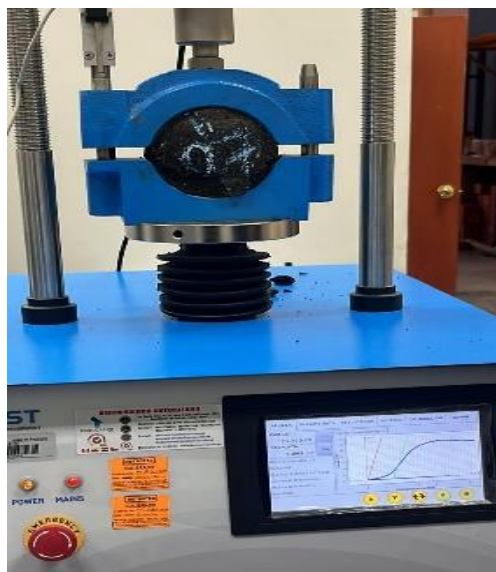
Nota. Controlando el peso de las probetas en seco para más adelante sacar los resultados de peso específico Bulk.

Figura 24.

Peso de probetas de asfalto con 0,7 % de caucho molido añadido



Nota. Controlando el peso de las probetas en seco para más adelante sacar los resultados de peso específico Bulk.

Figura 25*Ensayo Marshall*

Nota. Este ensayo es utilizado para evaluar la estabilidad y fluidez de las mezclas asfálticas.

Requisitos para agregados y MAF

Los agregados (AG, AF) cumplirán con los requerimientos establecidos por el MTC EG – 2013, tablas 423-01 y 423-02, hasta una altitud menor a 3000 m.s.n.m. mostrados en la tabla 1 y tabla 2.

Tabla 1*Requisitos para agregado fino*

Norma	Ensayo	Requerimiento Altitud (msnm) < 3.000
Absorción	MTC E205	0,5 % Max
Equivalente de arena	MTC E114	60
Índice de plasticidad (Malla N° 200)	MTC E111	4 Max
Angularidad del Agregado fino	MTC E222	30
Sales solubles	MTC E219	0,5 % Max

Nota. Los agregados finos deben cumplir con normas de calidad en cuanto a tamaño, forma, resistencia y limpieza para asegurar la estabilidad, durabilidad y adherencia en las mezclas asfálticas.

Tabla 2*Requisitos para agregado grueso*

Norma	Ensayo	Requerimiento Altitud (msnm) < 3.000
Absorción	MTC E 206	1,0 % Max
Abrasión de los ángeles	MTC 209	40 % Max.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% Max
Sales solubles	MTC E219	0.5 % Max

Nota. Los agregados gruesos deben cumplir con normas de calidad en cuanto a tamaño, forma, resistencia y limpieza para asegurar la estabilidad, durabilidad y adherencia en las mezclas asfálticas.

Tabla 3*Rangos de tamaño MAC*

Tamiz	Porcentaje que pasa MAC
(1") 250mm	-
(3/4") 19,0 mm	100
(1/2") 12,5 mm	80-100
(3/8") 9,5 mm	70-88
(N°4) 4,75 mm	51 – 68
(N°10) 2,00 mm	38 – 52
(N°40) 425 um	17 – 28
(N°80) 180 um	8 – 17
(N°200) 75 um	4 – 8

Nota. Norma que define los requisitos del porcentaje pasante en los tamices.

Tabla 4*Criterio de mezclas asfálticas MTC E 504*

Parámetros de diseño	Mezcla tipo B
Numero de golpes por lado	50
Estabilidad	5.44 kN min
Flujo 0,01" (0,25 mm)	8 - 16
Porcentaje de vacíos en aire	3 – 5%
Vacíos en el Ag. Mineral	65 - 78
Relación estabilidad flujo	1700 – 4000 kg/cm

Nota. Norma que define los requisitos y procedimientos para el diseño y control de mezclas asfálticas en pavimentos viales.

Parámetros que tiene que cumplir la mezcla asfáltica son definidos en la tabla 3 de según la norma MTC EG-2013 en su tabla 423-03 sección de condiciones para mezclas asfálticas.

3.3. Materiales e instrumentos

3.3.1. Granulometría

- Conjunto de tamices según la normativa ASTM, deben ser de tejido metálico, con mallas de alambre de abertura cuadrada y tensadas adecuadamente. (Marca: FORNEY)
- Balanza con una capacidad que supere la masa combinada de la muestra y el recipiente utilizado para el pesaje. (Marca: OHAUS) la exactitud debe ser de 0,1 gramos para muestras de menos de 1.000 gramos y de 1 gramo para muestras superiores a 1,000 gramos.
- Horno con control ajustable de la circulación de aire y la temperatura, adecuados para las condiciones específicas del ensayo. (Marca: TESTMAK)
- Instrumentos y accesorios como espátulas, pinceles, recipientes para el pesaje y para el secado de las muestras. (Marca: INGCO)

3.3.2. Peso específico y absorción

- Bascula con una un rango de 5 kg y sensibilidad de 0,5 g, adecuado de medir el peso de las muestras sumergidas en agua. (Marca: OHAUS)

- Horno con la capacidad de mantener una temperatura constante hasta $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. (Marca: TESTMAK)
- Bandejas que sean de aluminio con medidas de 25 x 20 x 5 cm, para el secado de las muestras. (Marca: ORION)
- Recipientes metálicos, preferiblemente inoxidable, con una capacidad aproximada de 25 litros para la inmersión de las muestras en agua. (Marca: ORION)
- Bandeja de 60 cm x 60 cm 5 cm. (Marca: ORION)
- Tamiz N-º8. (Marca: FORNEY)

3.3.3. Peso unitario

- Agregado triturado.
- Horno eléctrico. (Marca: TESTMAK)
- Varilla de acero con punta semiesférica de $\frac{5}{8}$ “.
- Bandeja de aluminio. (Marca: ORION)
- Arena

3.3.4. Contenido de sales solubles

- Agua purificada.
- Ácido clorhídrico concentrado.
- Estufa eléctrica con capacidad para mantener $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. (Marca: ORION)
- Sistema de filtración con papel de poro fino. (Marca: ORION)
- Dos balanzas analíticas con precisión de 0,0001 g. (Marca: OHAUS)
- Dos cápsulas de porcelana. (Marca: ORION)
- Frasco de vidrio con tapón hermético. (Marca: ORION)
- Matraces aforados de 500 cm³ y 100 cm³. (Marca: ORION)

3.3.5. Equivalente de arena

- Balanza para pesar la muestra y determinar la cantidad de material retenido. (Marca: OHAUS)
- Vaso de precipitación para contener la suspensión de suelo. (Marca: ORION)

- Varilla con lastre
- Embudo. (Marca: ORION)
- Recipientes. (Marca: ORION)
- Cuarteador. (Marca: ORION)

3.3.6. Ensayo de chatas y alargadas

- Balanza con una precisión del 0,5% respecto al peso de la muestra. (Marca: OHAUS)
- Instrumentos de medición metálicos. Conjuntos de calibradores metálicas, uno para cortes y otro para barras .
- Horno con circulación de aire. Horno controlado por un termostato que mantiene la temperatura a $105 \pm 4^{\circ}\text{C}$. (Marca: TESTMAK)
- Cuarteador de agregados, bandejas, etc. (Marca: ORION)

3.3.7. Ensayo de caras fracturadas

- Balanza precisa con un margen de error de como mínimo el 0,05% de la masa de la muestra de análisis en cualquier momento de uso. (Marca: OHAUS)
- Mallas según los requisitos de la ASTM E 11. (Marca: FORNEY)
- Segmentador según MTC E 103.
- Espátula para facilitar la mezcla de las partículas de agregado. (Marca: ORION)

3.3.8. Ensayo de abrasión – MTC E 207

- Máquina de abrasión Los Ángeles. (Marca: FORNEY)
- Tamices: Según la NTP 350.001. (Marca: FORNEY)
- Balanza con precisión del 0,1 % sobre el rango necesario para el ensayo. (Marca: OHAUS)

3.3.9. Ensayo de angularidad – MTC E 222

- Tamices; 2,36 mm (Nro 8) y (Nro 200). (Marca: FORNEY)

- Cilindro metálico de volumen predeterminado. (Marca: FORNEY)
- Marco metálico. (Marca: FORNEY)
- Embudo metálico. (Marca: FORNEY)

3.3.10. Ensayo Marshall

- Moldes para muestras, moldes redondos, bases y anillos de alargamiento. (Marca: FORNEY)
- Martillos de compactación. (Marca: FORNEY)
- Cabezal de ruptura. (Marca: FORNEY)
- Máquina automática para compresión. (Marca: FORNEY)
- Dispositivo que mide de carga. (Marca: FORNEY)
- Medidor de flujo.
- Horno, capaz de mantener la temperatura especificada ± 1 °C. (Marca: TESTMAK)
- Termómetros con precisión de 0,2 °C. (Marca: ORION)

3.4. Población y/o muestra de estudio

3.4.1. Población

Pavimentos flexibles de la región de Tacna.

3.4.2. Muestra

Av. Blondell S/N, por conveniencia de los investigadores.

3.5. Operacionalización de variables

Seguidamente se presentan las variables de la investigación 1 y 2 respectivamente.

Tabla 5

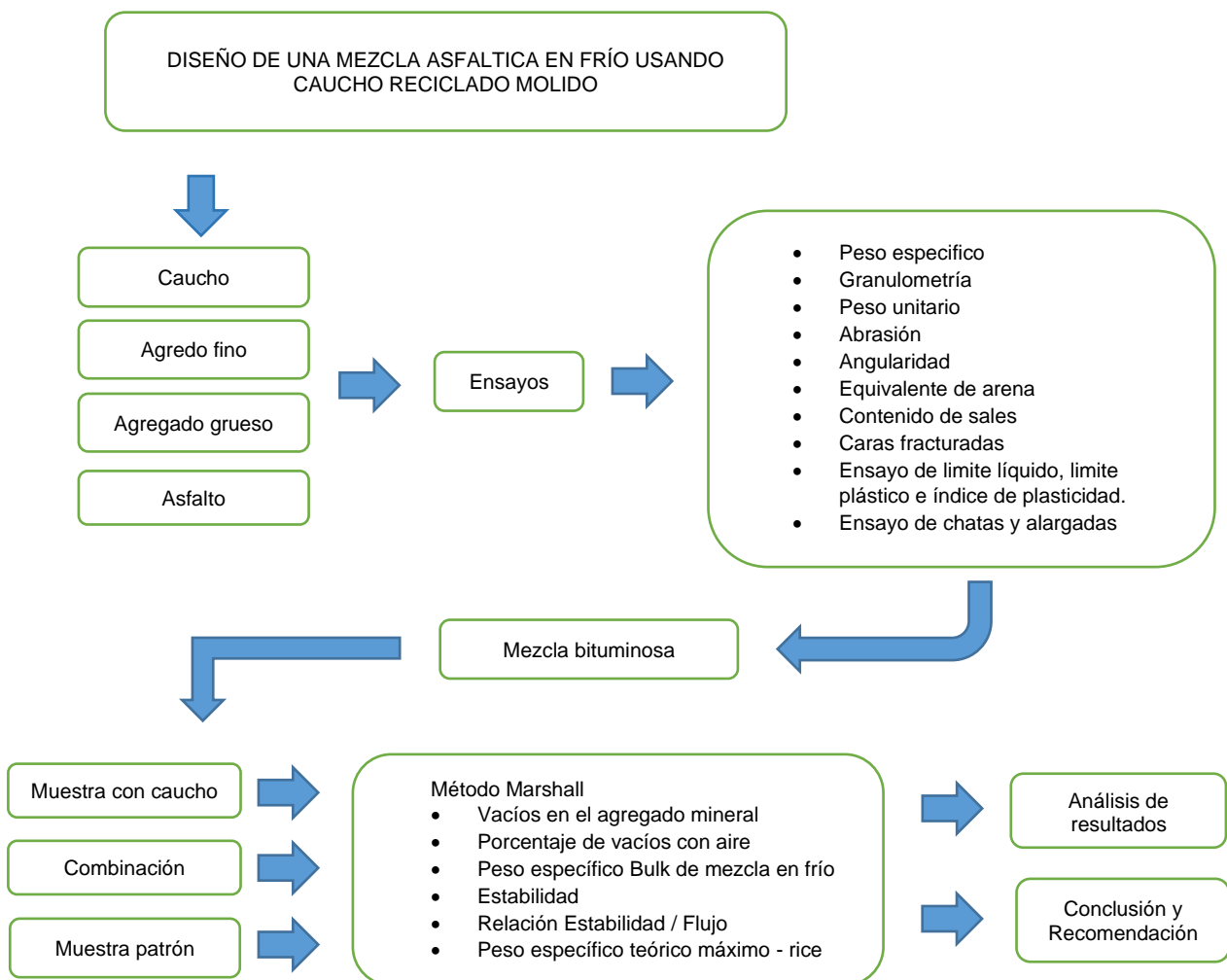
Operacionalización de variables

Variables		Indicadores
Variable Independiente	Caucho Molido	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de plástico utilizado en la mezcla del pavimento. • Técnicas de incorporación de plástico en el diseño del pavimento.
Variable Dependiente	Mezcla Asfáltica	<ul style="list-style-type: none"> • Agregados. • Durabilidad. • Nivel de Calidad.

Nota. Variables e indicadores.

3.6. Procedimiento análisis de datos

3.6.1. Diagrama de flujo de procesos



3.6.2. Descripción del proceso de materiales

Ética en el desarrollo

Obtención de información

En el laboratorio de suelos de la UPT se obtuvieron los datos, respetando la NTP y manuales del MTC, siendo testigos los técnicos laboratorios de la universidad.

Criterios de rigor científico

Honestidad

Se verifica con evidencia que no se alteró los datos para que estos tengan la capacidad de dirigirse a los demás tesisistas para que puedan usar estos datos para futuras investigaciones. “La honestidad es el primer capítulo en el libro de la sabiduría” (Thomas, 1798)

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Los componentes (agregados grueso y fino) deben ajustarse a lo especificado en las tablas 1 y 2, cumpliendo con los rangos de tamaño MAC para un rendimiento óptimo, según la tabla 3. Finalmente, la tabla 4 establece los requisitos para las mezclas bituminosas, tras lo cual se procede con el método.

4.1. Resultados en tablas y/o figuras

4.1.1. Ensayo del agregado

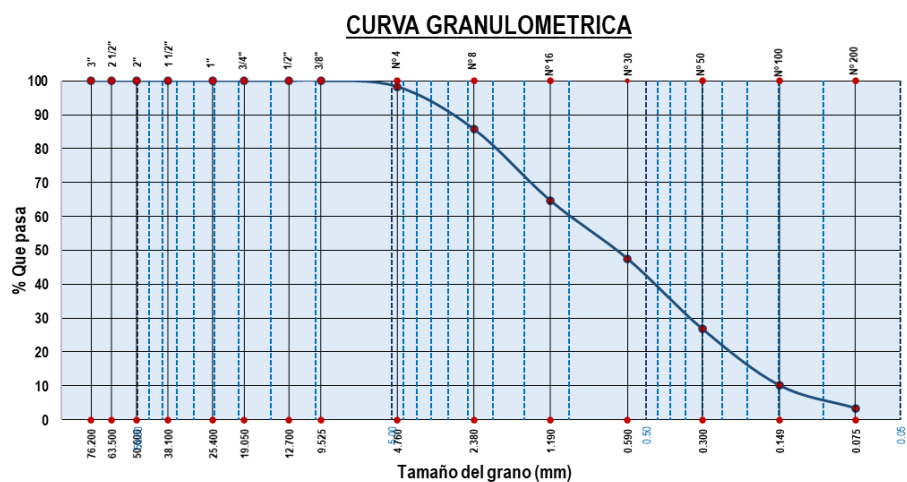
4.1.1.1 Análisis granulométrico del agregado fino (AF)

Según el análisis con una masa de 688,30 gramos, se obtuvieron estos resultados.

Según la figura 26, que ilustra la curva granulométrica del agregado fino, se aprecia que el tamaño es consistente. Se destaca una mayor concentración de material que pasa a través de las mallas N°8 y N°50.

Figura 26

Curva granulométrica del agregado fino



Nota. Gráfico que muestra la distribución del tamaño de partículas del agregado fino.

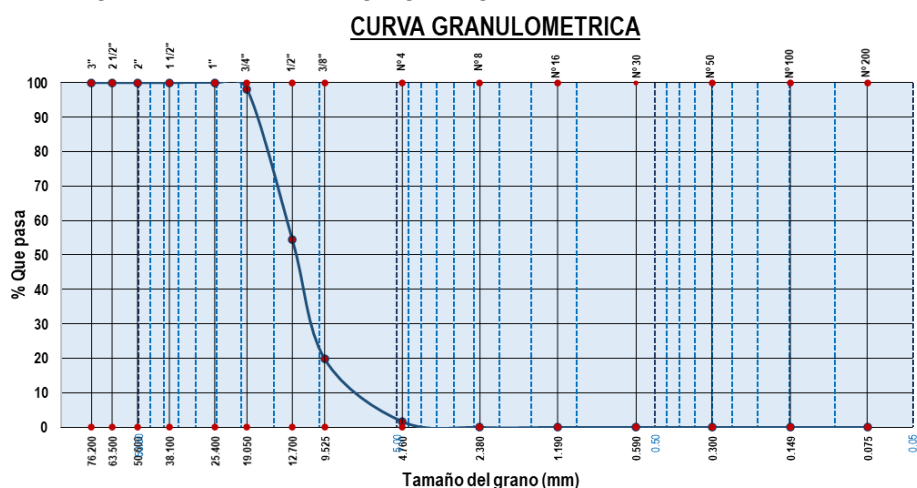
4.1.1.2 Análisis granulométrico del agregado grueso (AG)

El análisis granulométrico con una masa de 7433 gramos se obtuvo los siguientes resultados

Según la figura 27, que muestra la curva granulométrica del agregado grueso, se puede concluir que el tamaño es homogéneo. Se nota una gran presencia de material grueso que pasa a través de las mallas N°3/4 y N°3/8, con una mínima presencia de material fino.

Figura 27

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota. Gráfico que muestra la distribución del tamaño de partículas del agregado grueso.

Resultados de ensayo hechos a los agregados:

Tabla 6

Resultados de los agregados

Ensayo	Agregado fino	Agregado grueso
Partículas Fracturadas	-	83,58/76,58
Equivalente de arena	64,77 %	-
Abrasión de los ángulos	-	21,23 %
Índice de plasticidad	1,5 %	-

Sales solubles	0,09 %	0,04 %
Partículas chatas y alargadas	-	9 %
Absorción	1,30 %	1,10 %

Nota. Los ensayos de agregados garantizan su calidad para las mezclas asfálticas.

Los resultados de la tabla son producto de los ensayos realizados a los agregados fino, grueso y se concluye que hay una cantidad considerable de fragmentos fracturadas.

4.1.1.3 Diseño de MAF patrón mediante método Marshall

Este diseño de MAF, utilizó los requerimientos y normativas Para un pavimento asfáltico clase B.

Tabla 7

Porcentaje de los agregados

Malla	AG	AF	Combinado
	33,1 %	61,4 %	
	% pasante		
¾"	100,0	100,0	100,0
½"	85,3	100,0	92,7
3/8"	56,9	100,0	82,5
N°4	12,5	100,0	64,3
N°10	0,8	90,4	50,1
N°40	0,8	28,4	19,6
N°80	0,4	18,8	9,4
N°200	0,5	9,5	6,3

Nota. Tabla que muestra resultados de porcentaje pasante de los agregados.

Según la tabla 8, haciendo uso del método Marshall descubriremos cual es el % óptimo de asfalto para la muestra del patrón.

Tabla 8*Peso de los materiales según porcentaje de asfalto*

Agregado	% Usados					
Agregado fino	61,4 %	61,4 %	61,4 %	61,4 %	61,4 %	61,4 %
Agregado grueso	33,1 %	33,1 %	33,1 %	33,1 %	33,1 %	33,1 %
Asfalto	4,5 %	5 %	5,5 %	6 %	6,5 %	7 %

Nota. Porcentajes de los agregados y asfalto a diseñar.

4.1.1.4 Peso específico Bulk

Síntesis del muestreo estándar en función del porcentaje de asfalto.

Este ensayo determinará el valor promedio de la gravedad específica por muestra y la cantidad de espacios de las probetas de asfalto en el método Marshall.

Según la tabla 9 se detallan los porcentajes del peso específico Bulk, mostrando que, al incrementarse el porcentaje de asfalto, el peso específico Bulk también sube.

Tabla 9*Peso específico Bulk*

Porcentaje de asfalto	Peso específico
4,5 %	2,112
5 %	2,204
5,5 %	2,211
6 %	2,231
6,5 %	2,274
7 %	2,305

Nota. Resultados del peso específico Bulk por cada porcentaje diferente.

4.1.1.5 Estabilidad y flujo

La proporción entre estabilidad y flujo se determina dividiendo la estabilidad por el flujo obtenidas durante el proceso de Marshall, lo que permite obtener el porcentaje en la mezcla.

Tabla 10

Relación estabilidad / flujo

Porcentaje de asfalto	Estabilidad / flujo
4,5 %	4 061
5 %	3 757
5,5 %	2 847
6 %	3 101
6,5 %	2 392
7 %	2 014

Nota. Resultados de la estabilidad por cada porcentaje diferente.

La relación estabilidad y flujo se observa la variación inversamente proporcional hasta el 5,5 % luego tiende a subir para luego tener el mismo comportamiento.

4.1.1.6 Peso específico teórico máximo

Los siguientes resultados fueron obtenidos de acuerdo con el porcentaje de asfalto en la mezcla asfáltica en frío.

Según la tabla 11, muestra que el peso teórico máximo varía inversamente con el porcentaje de asfalto en la mezcla asfáltica, es decir, disminuye a medida que aumenta el contenido de betún.

Tabla 11*Peso específico teórico máximo*

Porcentaje de asfalto	Rice
4,5 %	2,305
5 %	2,280
5,5 %	2,256
6 %	2,322
6,5 %	2,209
7 %	2,186

Nota. Resultados del teórico rice por cada porcentaje diferente.

4.1.1.7 Porcentaje de vacíos

Según la tabla 12, revela que el porcentaje de espacios en la mezcla, en función del porcentaje de asfalto, varía de manera inversamente al contenido de asfalto, también se observa que en el porcentaje asfalto 6,5 % a 5,5 % tiene una variación menor.

Tabla 12*Porcentaje de vacíos*

Porcentaje de asfalto	% vacíos
4,5 %	8,635
5 %	6,538
5,5 %	4,990
6 %	3,749
6,5 %	3,005
7 %	2,564

Nota: El porcentaje de vacíos muestra el espacio vacío en la mezcla.

4.1.1.8 Método Marshall

Según la tabla 13, podemos observar los datos que se sacaron para estimar el nivel óptimo de asfalto que tendrá que cumplir los criterios de acuerdo con la tabla 4 para poder determinar las mejores propiedades de la combinación.

Tabla 13

Datos de las propiedades evaluadas usando el método Marshall

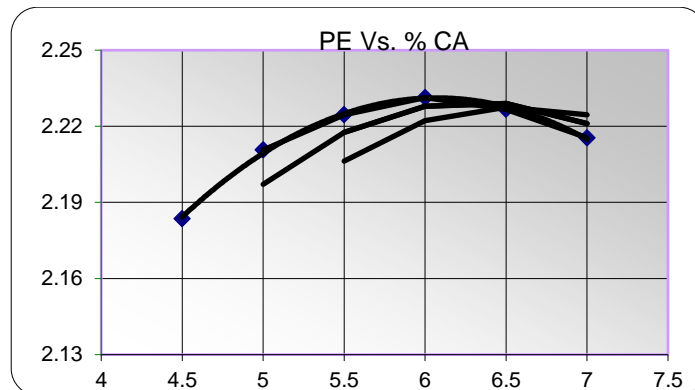
Porcentaje de asfalto	%	4,5 %	5 %	5,5 %	6 %	6,5 %	7 %
Agregado fino	%				61,4 %		
Agregado grueso	%				33,1 %		
Diámetro promedio	mm	102,5	101,48	102,11	102,01	101,96	101,56
Altura promedio	mm	65,9	65,8	65,11	65,16	65,21	64,9
Peso específico máximo	g/cm ³	2,305	2,280	2,256	2,322	2,209	2,186
Peso específico efectivo	g/cm ³	2,390	2,365	2,341	2,318	2,296	2,274
Porcentaje de vacíos	%	8,635	6,538	4,990	3,749	3,005	2,564
VMA	%	18,20	17,58	17,45	17,59	18,15	18,94
% Vacíos c/asf	%	52,56	62,81	71,41	78,69	83,44	86,46
Peso específico Bulk	g/cm ³	2,112	2,204	2,211	2,231	2,271	2,305
Flujo	cm	0,19	0,24	0,30	0,33	0,36	0,40
Estabilidad	Kg	773,6	889,7	867,8	1 023,3	861,2	805,7
Estabilidad / Flujo	Kg /cm	4 061	3 753	2 847	3 101	2 392	2 014

Nota. Recolección de resultados de las propiedades de las probetas de asfalto patrón.

Según la figura 28, se visualiza que el peso específico aumenta simultáneamente con el porcentaje de asfalto aumenta.

Figura 28

Peso específico en relación con el % de asfalto

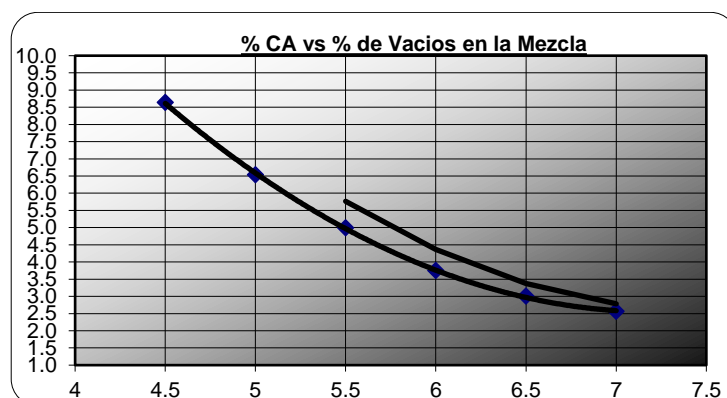


Nota. la curva alcanza un pico máximo aproximadamente entre el 5.5 % y 6.5 % de asfalto, indicando el valor óptimo donde el peso específico es mayor.

Según la figura 29, se observa que el porcentaje de espacios se reduce conforme aumenta el porcentaje de asfalto en la mezcla.

Figura 29

Relación con el % de asfalto y vacíos en la mezcla bituminosa

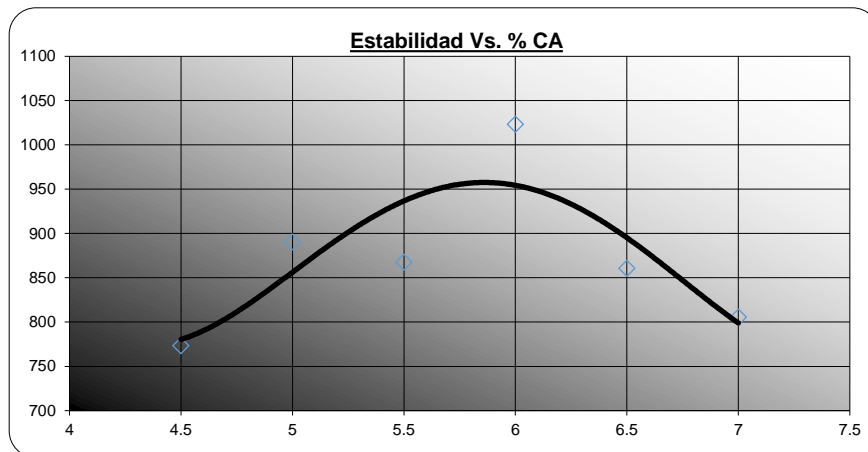


Nota. La curva tiene una pendiente pronunciada al inicio, indicando que los vacíos disminuyen rápidamente conforme aumenta el asfalto desde el 4.5 % al 5.5 %.

Según la figura 30, se visualiza que la estabilidad de la probeta de asfalto convencional tiene un punto máximo posteriormente se reduce a medida que el porcentaje de asfalto en la mezcla incrementa.

Figura 30

Estabilidad en relación con el porcentaje de asfalto

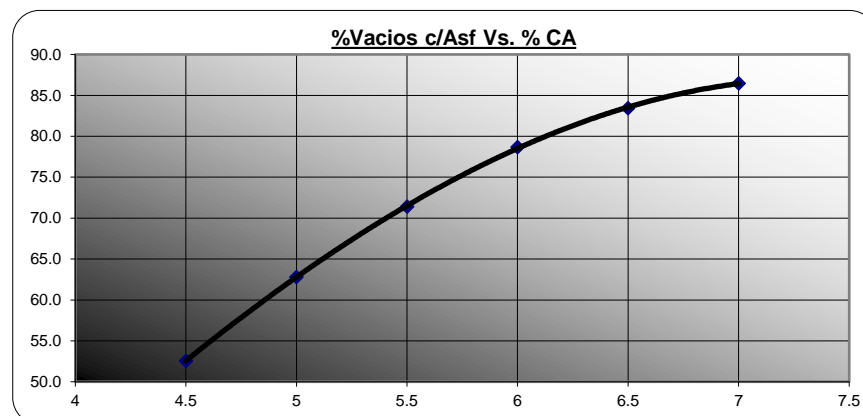


Nota. El punto máximo de la curva es crítico, ya que indica el contenido óptimo de asfalto para lograr la máxima estabilidad de la mezcla asfáltica.

Según la figura 31, se visualiza que los vacíos llenos de C.A. aumentan simultáneamente con el porcentaje de asfalto.

Figura 31

Vacíos llenos de C.A en relación con el porcentaje de asfalto

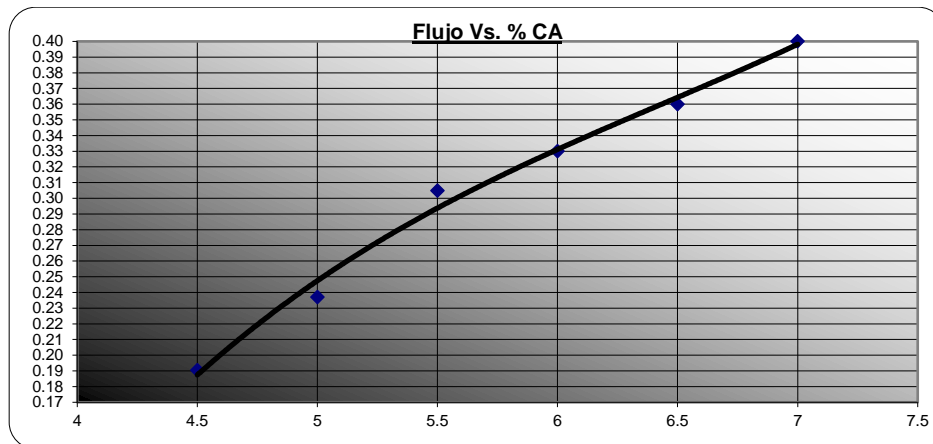


Nota. Los vacíos en la mezcla indica si tendrá una buena duración de vida de la mezcla.

Según la figura 32, visualizamos que el flujo aumenta conforme aumenta el porcentaje de asfalto.

Figura 32

Flujo en relación con el % de asfalto

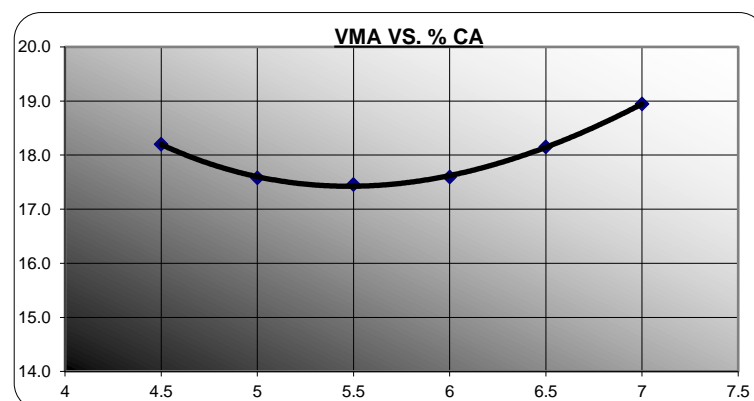


Nota. El flujo refleja la capacidad de la mezcla para deformarse sin fracturarse.

Según la figura 33, se observa que el VMA disminuye conforme aumenta el porcentaje de asfalto.

Figura 33

Vacios en el agregado mineral en relación con el % de asfalto



Nota. El volumen de espacio vacío entre las partículas del agregado dentro de la mezcla compactada que es llenado parcialmente por el asfalto, se observa que en 5.5 % de asfalto es menor el VMA.

En la tabla 14 tenemos el % óptimo de asfalto dando como resultado 5,5%, este se usará para la adicción de caucho molido a la MAF.

Tabla 14

Características Marshall

Características del ensayo Marshall		
Golpes	50	50
P. Unitario	2,206	-
% C.A	5,5	-
Vacios	4,9	3-5
V.M.A	17,45	14 min
Flujo	12	8 – 16
Estabilidad	8,51	5,44 kN
Estabilidad/ flujo	2 847	1 700-4 000

Nota. La tabla Marshall resume estabilidad, fluidez y vacíos de la mezcla asfáltica.

4.1.1.9 Diseño de MAF adicionando caucho

Después de determinar el porcentaje ideal de asfalto, procederemos a preparar una MAF tipo B para tráfico moderado, incorporando caucho molido en las siguientes proporciones: 0,5 %, 0,7 %, 0,9 % y 2 % del peso de la mezcla bituminosa.

En la tabla 15 se concluye que la gravedad específica teórica máxima se reduce al aumentar el porcentaje de caucho en la MAF.

Tabla 15

Gravedad específica teórica máxima

Porcentaje de caucho	Rice
0,5 %	2,280
0,7 %	2,270
0,9 %	2,261
2 %	2,253

Nota. Resultados del peso teórico rice por cada porcentaje diferente.

4.1.1.10 Método Marshall MAF adicionando caucho

En la tabla 16 lograron los hallazgos por el método Marshall se observa que añadiendo un 0,9 % de caucho de la mezcla, se tiene condiciones optimar para el tipo de camino B. mientras que las demás no cumplen con las características de la tabla 4.

Tabla 16

Resultados de las probetas adicionando caucho

Porcentaje de caucho	%	0,5 %	0,7 %	0,9 %	2 %
Porcentaje de asfalto	%			5,5 %	
Agregado fino	%			34	
Agregado grueso	%			61,4	
Diámetro promedio	mm	101,16	102,00	102,45	103,56
Altura Promedio	mm	63,11	64,22	65,30	65,96
Peso específico Bulk	g/cm ³	2,230	2,212	2,063	2,096
% de vacíos	%	5,487	5,894	4,89	6,329
VMA	%	18,05	17,48	17,35	17,68
% Vacíos llenados con C. A	%	69,66	66,28	71,81	64,26
Flujo	cm	0,30	0,36	0,40	0,41
Estabilidad	kg	867,8	1 168,5	935,1	481,3
Estabilidad / Flujo	Kg /cm	2 928	3 210	2 349	1 172

Nota. Recolección de datos de las probetas de asfalto modificadas usando el método Marshall.

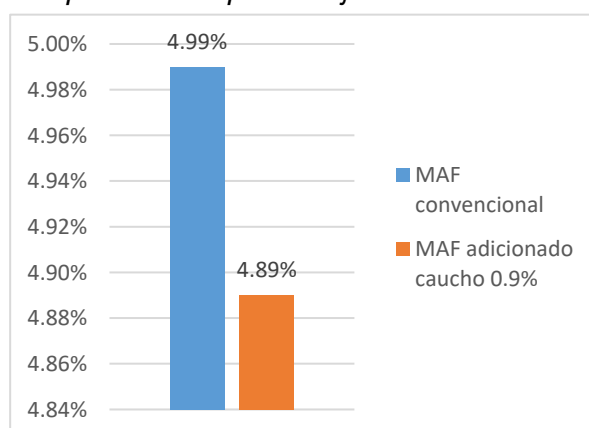
De la tabla 17 se visualiza los resultados de la comparación del MAF convencional y el MAF adicionado con caucho, el cual se puede concluir que el MAF con 0,9% de caucho adicionado cumple y mejora en los requerimientos de la tabla 4.

Tabla 17*MAF convencional vs MAF modificada con caucho*

Descripción	MAF convencional	MAF adicionado caucho 0,9 %
Vacíos %	4,99	4,89
VMA %	17,45	17,35
Estabilidad kN	8,51	9,17
Flujo	0,30	0,40
Estabilidad / Flujo	2 847	2 349
V.LL.C.A. %	71,41	71,81

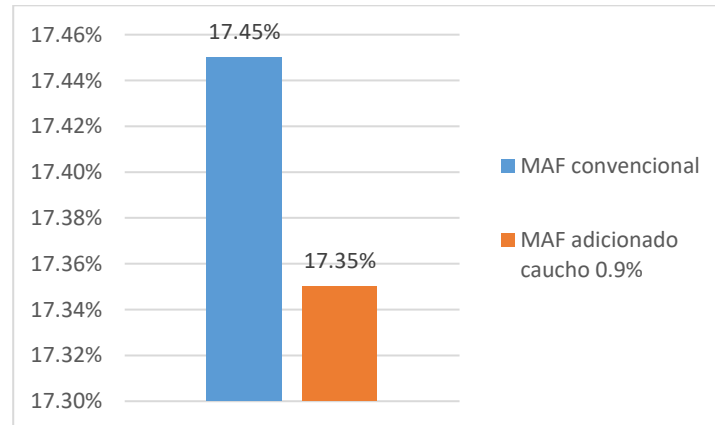
Nota. Comparación de las mezclas asfálticas con y sin caucho.

En la figura 34, se visualiza 4,99 % de porcentaje de vacíos para la MAF con una diferencia del 0,10 % con la MAF con caucho.

Figura 34*Comparación de porcentaje de vacíos*

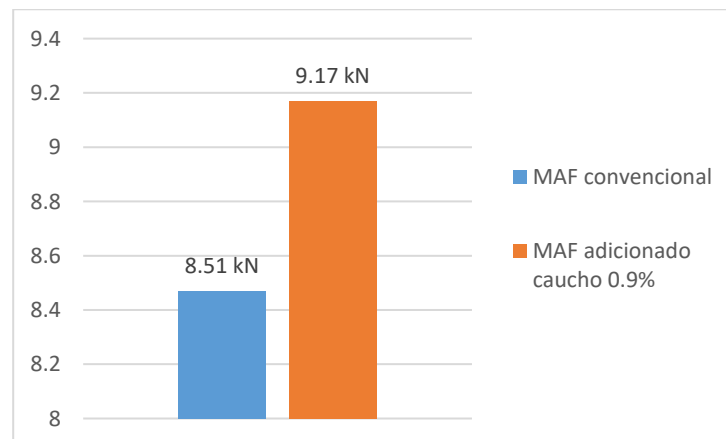
Nota. La comparación de porcentaje de vacíos evalúa la densidad y compactación de la mezcla asfáltica.

En la figura 35, se observa un porcentaje de 17,35 % de agregado mineral (VAM) en la MAF con caucho, lo que representa una diferencia de 0,10 % en comparación con la MAF patrón.

Figura 35*Comparación de porcentaje vacíos en el agregado*

Nota. La comparación de vacíos en el agregado evalúa su porosidad y calidad.

En la figura 36, se visualiza que el MAF con caucho tiene una estabilidad de 9,17 kN de estabilidad que está por encima de la MAF convencional.

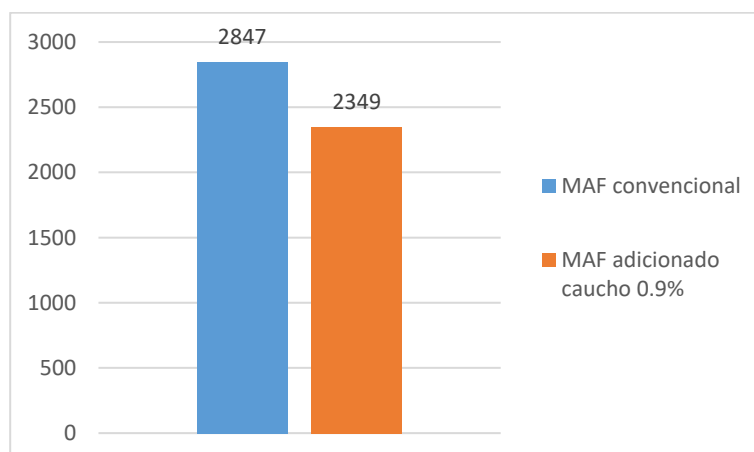
Figura 36*Comparación de estabilidad*

Nota. La comparación de estabilidad evalúa su capacidad de resistir cargas de tráfico.

En la figura 37, se visualiza que la proporción estabilidad flujo de MAF convencional caucho está por encima de la MAF modificada, ambas cumplen con la normativa.

Figura 37

Comparación estabilidad / flujo

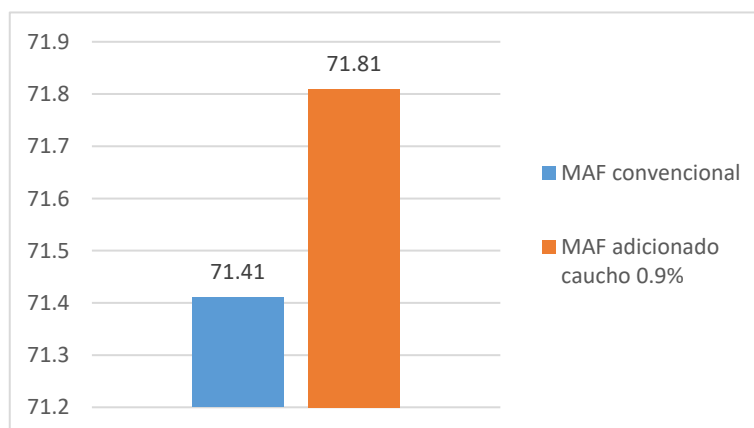


Nota. La comparación de estabilidad/flujo evalúa la conducta de las mezclas asfálticas bajo las condiciones de uso real.

En la figura 38 se observa que MAF adicionado con caucho tiene un aumento de vacíos llenados con asfalto que el de MAF convencional. Pero ambos cumplen con los requerimientos de la normativa.

Figura 38

Comparación de porcentaje vacíos llenado con asfalto



Nota. La comparación de vacíos llenados con asfalto evalúa la proporción de los vacíos entre partículas del agregado que están ocupados por el asfalto.

4.2. Análisis costos que implica que la fabricación con caucho

En la tabla 18 se muestra el precio de elaboración de mezcla asfáltica convencional.

Tabla 18

Precio de elaboración de mezcla asfáltica convencional

Mezcla Asfáltica Convencional				Rend:	m³/día
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
Capataz	hh	1,000	0,0381	33,25	1,27
Operario	hh	1,000	0,0381	27,71	1,06
Peón	hh	2,000	0,0762	19,71	1,50
					3,82
Materiales					
Asfalto RC-250	gal		31,7000	11,55	366,14
Agregado fino	m3		1,3396	61,02	81,74
Agregado grueso	m3		0,7221	49,15	35,49
					483,37
Equipo					
Herramientas manuales	%mo		2,0000	3,83	0,08
Pavimentadora sobre oruga 69 HP	hm	1,000	0,0381	220,26	8,39
Rodillo neumático autop. 81-100 HP 5.5-20T	hm	1,000	0,0381	178,02	6,78
Rodillo tandem estático aut. 58-70 HP 8-10T	hm	1,000	0,0381	109,83	4,18
					19,44
Costo unitario por m³ :					506,63

Nota. Análisis de costos.

Tabla 19

Precio de elaboración de mezcla asfáltica modificada

Mezcla Asfáltica Modificada				Rend:	m³/día
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
Capataz	hh	1,000	0,0381	33,25	1,27
Operario	hh	1,000	0,0381	27,71	1,06
Peón	hh	2,000	0,0762	19,71	1,50
					3,82
Materiales					
Asfalto RC-250	gal		31,7000	11,55	366,14
Agregado fino	m3		1,3396	61,02	81,74
Agregado grueso	m3		0,7221	49,15	35,49
Caucho molido	kg		19,6400	1,00	19,64
					503,01
Equipo					
Herramientas manuales	%mo		2,0000	3,83	0,08
Pavimentadora sobre oruga 69 HP	hm	1,000	0,0381	220,26	8,39
Rodillo neumático autop. 81-100 HP 5.5-20T	hm	1,000	0,0381	178,02	6,78
Rodillo tandem estático aut. 58-70 HP 8-10T	hm	1,000	0,0381	109,83	4,18
					19,44
Costo unitario por m³ :					526,27

Nota. Análisis de costos

De la tabla 17 y 18 se concluye que para hacer 1 m³ de asfalto convencional tiene un costo de 506,63 soles y adicionando caucho tiene un costo de 526,27 soles. Por lo tanto el precio aumenta un valor de 19,64 soles (3,73 %).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Con la Hipótesis que especifica en la N°1, se planteó que: “Es económicamente viable implementar el caucho molido a la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna.”, y efectivamente hay un incremento del 3,877% en el costo de la mezcla asfáltica modificada. No obstante, sigue siendo factible a largo plazo, ya que ofrecerá mayor durabilidad y reducirá la necesidad de reparaciones en el pavimento.

Con la Hipótesis que especifica en la N°2, se planteó que: “Las principales ventajas de aplicar caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024 son: Vida útil e impacto ambiental”, y efectivamente la estabilidad se incrementó de 8,51 kN a 9,17 kN, lo que confirma una mejora significativa. Además, contribuimos al cuidado del medio ambiente al evitar prácticas perjudiciales como la quema de llantas, optando por reutilizarlas en la creación de un pavimento ecológico.

Con la Hipótesis que especifica en la N°3, se planteó que: “La propuesta de implementación de caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna es la mejor”, y efectivamente se logró determinar que la proporción óptima de caucho molido en la mezcla asfáltica es del 0,9 %, lo cual optimiza tanto el desempeño del pavimento como la sostenibilidad del proyecto. Esta proporción no solo garantiza los niveles adecuados de estabilidad y resistencia, sino que también permite reutilizar desechos de neumáticos, transformando un problema ambiental en una solución práctica y eficiente. A pesar de los costos iniciales, la mayor durabilidad del pavimento reducirá significativamente los gastos de mantenimiento y reparación en el futuro. Por tanto, sería altamente beneficioso implementar esta tecnología en las calles de la ciudad de Tacna, promoviendo no solo una infraestructura más resistente, sino también una gestión más sostenible de los recursos

CONCLUSIONES

Se concluye que la implementación de caucho molido reciclado a la mezcla asfáltica es económicamente viable. Se hizo el presupuesto del costo que implica la fabricación de la MAF convencional vs MAF modificada dando como resultado un precio S/ 506,63 Soles por 1 m³, en MAF convencional y S/ 526,27 soles por 1 m³ para la MAF adicionando caucho molido. Debido a la mejora de las características mecánicas del pavimento incrementando su durabilidad genera ahorros a largo plazo.

La aplicación de caucho molido reciclado en la mezcla presenta varias ventajas importantes. Primero, se ha observado una mejora en las características del pavimento, ya que, al añadir caucho, la estabilidad aumentó de 8,51 kN a 9,17 kN, lo que evidencia una mayor resistencia. En segundo lugar, esta práctica contribuye significativamente al cuidado del medio ambiente, al reutilizar llantas desechadas que de otro modo se convertirán en residuos contaminantes. Finalmente, a largo plazo, se generarán ahorros económicos, ya que la mejora en las características mecánicas del pavimento reducirá la necesidad de mantenimiento frecuente, optimizando costos de conservación.

La implementación de caucho molido reciclado en la mezcla asfáltica flexible en la región de Tacna ha demostrado ser viable, cumpliendo con las normativas técnicas peruanas vigentes. Se determinó que la proporción óptima de caucho molido es del 0,9 %, lo que implica el uso de 19,64 kg de caucho reciclado por cada m³ de pavimento. Cabe destacar que en la ciudad de Tacna se comercializa un volumen aproximado de 2,67 m³ de caucho molido proveniente de negocios de reencauchadoras, lo cual facilita su disponibilidad para este tipo de proyectos. A pesar de que el costo de la mezcla modificada representa un incremento del 3,877 % por m³, esta inversión se justifica por los beneficios en términos de mayor durabilidad, adherencia y sostenibilidad ambiental. Por lo tanto, se concluye que esta propuesta ecológica es factible tanto técnicamente como económicamente.

RECOMENDACIONES

Recomendamos instituciones públicas como MTC y Gobiernos regionales que se considere implementar caucho molido en la mezcla asfáltica, ya que es una opción económica y fácil de adquirir. Al hacerlo, se logrará reducir los costos de construcción y, gracias a las mejoras que aportará a la durabilidad del pavimento, se necesitará menos mantenimiento en él.

Recomendamos a futuros investigadores tesisistas la implementación del caucho molido reciclado en la mezcla asfáltica en los pavimentos de Tacna, ya que mejorará la durabilidad del pavimento y contribuirá al cuidado ambiental. En el futuro, será clave realizar pruebas piloto para validar su efectividad y asegurar el ahorro en mantenimiento a largo plazo.

Se recomienda a las empresas constructoras e instituciones públicas de la región de Tacna que consideren la implementación del caucho molido reciclado en sus futuros proyectos de pavimentación. Esta tecnología no solo cumplirá con las normativas técnicas y de calidad vigentes, sino que también permitirá una reducción significativa de residuos, fomentando la sostenibilidad ambiental. Además, las empresas podrían beneficiarse económicamente al aprovechar el mercado emergente del caucho reciclado, contribuyendo a una economía circular más responsable en la región y la creación de nuevas oportunidades comerciales para el desarrollo local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A., Zamora, G. H. Z. F. C., & Clemente, M. (2019). Producción de emulsiones asfálticas para mezclas en frío con sbs lineal de diferente microestructura. Emulsiones Asfálticas. <https://es.scribd.com/document/409224440/emulsiones-asfalticas>
- Análisis de la variabilidad asociada a ensayos de fatiga en mezclas asfálticas. (2020). 2215-3705-infraestructura-23-41-20.pdf. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/infraestructura/v23n41/2215-3705-infraestructura-23-41-20.pdf>
- Aranda-Rojas, C. A., Clavijo-Rey, C. M., & Moreno-Anselmi, L. Á. (2016, 3 noviembre). Análisis del comportamiento físico-mecánico de una mezcla densa en caliente tipo MDC-2 modificada con caucho y cuero en porcentajes de 25% y 75%, respectivamente. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/5021?show=full>
- Avellán, M. (2007). Asfaltos modificados con Polímeros. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civi. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2705_C.pdf
- Cambio de propiedades en el ligante asfáltico. (2019). Polimeros Con Pavimentos Luigi. <https://es.scribd.com/presentation/427085607/Pavimento-Con-Polimeros-Luigi>
- Cauchos termoplásticos :Caucho / Goma / PVC | Rdiplastics. (2018, 15 agosto). Rdiplastics. <https://www.rdiplastics.com/caucho-goma-pvc/>
- Cordero, H., Dr. (2018). Desarrollo de un polietileno reforzado con grafeno oxidado para envasado activo de alimentos. Universidad de Chile facultad de ciencias físicas. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168500/Desarrollo-de-un-polietileno-reforzado-con-grafeno-oxidado-para-ensado-activo-de-alimentos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Corro, J. (2015). Tesis pavimentos rígidos y flexibles. Ucv-pe. https://www.academia.edu/17027903/Tesis_pavimentos_rigidos_y_flexibles
- Del plástico al pavimento | Stanford Social Innovation Review en Español del Tecnológico de Monterrey. (s. f.). Stanford Social Innovation Review En Español del Tecnológico de Monterrey. <https://ssires.tec.mx/es/noticia/del-plastico-al-pavimento>
- Del Toro, Y., Alamilla, H., Guzmán, D., & Salazar, A. (2018). Manual de ensayos para laboratorio. Mezclas asfálticas en caliente (mac) parte 1 , para el cálculo de volumetría Y ensayos de desempeño. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt516.pdf>
- Elías, A., Dioverti, J., & Sánchez, A. (s. f.). Pavimento microaglomerado en frío. Microsoft Word - 13 MA-VI-13.doc. <https://www.ing.una.py/pdf/1er-congreso-nacional-ingcivil/13ma-vi-13.pdf>
- Emesa. (2022, 14 noviembre). Ensayo Marshall | Emesa M-30. Emesa M-30. <https://www.emesa-m30.es/ensayo-marshall/>
- Figueroa, A., Castillo, A., & Lizcano, F. (2007). <https://www.redalyc.org/pdf/955/95500905.pdf>. Épsilon. <https://www.redalyc.org/pdf/955/95500905.pdf>
- Fortaps. (2022, 27 mayo). Qué es el caucho y por qué se usa en la fabricación de una contera. FORTAPS. <https://fortaps.com/blog/caucho-transformacion-latex/>
- Hernández., A. (2004). "Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos". 278 Asfaltos Modificados y Pruebas de Laboratorio para Caracterizarlos. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/ingenieria-de-procesos/278-asfaltos-modificados-y-pruebas-de-laboratorio-para-caracterizarlos/14071563>
- Infante, A., Fonseca, E., Amaya, C., & Camelo, M. (2008). Contrastación entre el asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada empleando dos métodos de

mezclado. [viewcontent.cgi.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1057&context=ep](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1057&context=ep)

Laboratorio Vial. (s. f.).
<https://www.fceia.unr.edu.ar/laboratoriovial/ensayos.php?frm=mezclas>

Lizama, X., & Lovo, R. (2010). "Metodología para el control de calidad en la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en caliente". Universidad de el salvador.
<https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/27507/1/L-10%2050107420.pdf>

Normas Técnicas Peruanas sobre GLP, petróleo, y otros. (2020). Estudio Muñiz.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4958132/Boletin%20de%20Normas%20T%C3%A9cnicas%20Peruanas%20y%20textos%20afines%20N%C2%B0%20004-%202023.pdf>

Oscar J., -Ortiz, R., Álvarez, A., & Valdés, G. (2013). Evaluación Mecánica de Mezclas Asfálticas Frías Fabricadas con Reemplazo de Llenante Mineral. Revista Ingeniería y Ciencia. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v25n2/art11.pdf>

Reyes-Ortiz, O. J., Álvarez, A. E., & Valdés-Vidal, G. A. (2014). Evaluation mecánica de mezclas asfálticas frías fabricadas con reemplazo de llenante mineral. Información Tecnológica, 25(2), 93-102. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642014000200011>

Roca, I. (2005). Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (pead). Universidad de San Carlos de Guatemala facultad de ingeniería escuela de ingeniería química.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf

Velasco, J., & Camargo, J. (2019). mejoramiento de mezclas asfálticas porosas a través de la incorporación de fibras de nylon y polipropileno. Content. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/78bb9b87-1ed5-4d63-aeac-62128d704eb4/content>

Vista de Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad en Colombia. (s. f.).
<https://revistas.unitecnar.edu.co/index.php/sth/article/view/16/59>

Wen, C. S., Chilingarian, G. V., & Yen, T. F. (1978). Chapter 7 Properties and Structure of Bitumens. En *Developments in petroleum science* (pp. 155-190). [https://doi.org/10.1016/s0376-7361\(08\)70066-9](https://doi.org/10.1016/s0376-7361(08)70066-9)

Aimplas. (2024, 14 enero). Aplicaciones de caucho reciclado con reciclaje de neumáticos. <https://www.aimplas.es/blog/aplicaciones-de-caucho-reciclado-con-reciclaje-de-neumaticos/>

Especificaciones técnicas generales para construcción eg-2013. (2013). Manual de carreteras. <https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/manualdecarreteraspecificacionestecnicasgeneralesparaconstruccion.pdf>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Viceministerio de Transportes, & Direccion General de caminos y Ferrocarriles. (2016). Manual De Ensayo De Materiales. RD N° 18_2014_MTC_14 Original_Aprueba Manual de Ensayo de Materiales.PDF.

ANEXOS

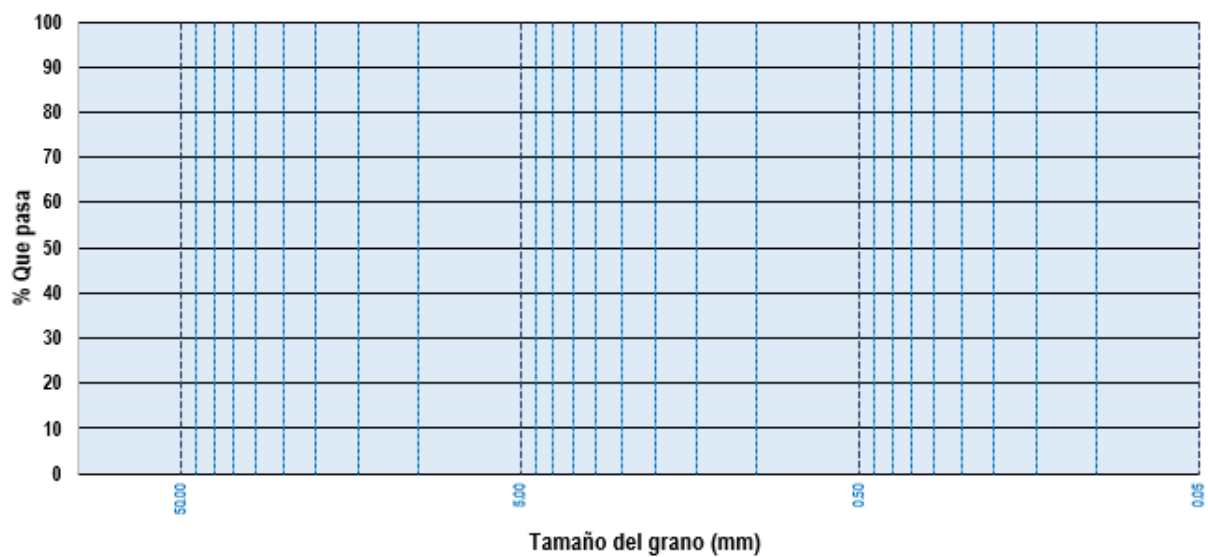
Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
<p>Interrogante principal ¿Cómo influirá la implementación de caucho molido en la mejora de la mezcla asfáltica de los pavimentos flexibles en la región de Tacna en 2024?</p> <p>Interrogantes específicas</p> <p>¿Será económicamente viable implementar el caucho molido a la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna?</p> <p>¿Cuáles serían las principales ventajas de aplicar caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024?</p> <p>¿Será factible aplicar la propuesta ecológica, implementación de caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna?</p>	<p>Objetivo general Implementar caucho molido para mejorar la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Evaluar la viabilidad económica al implementar el caucho molido a la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna.</p> <p>Determinar cuáles serían las principales ventajas de aplicar caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024.</p> <p>Analizar la factibilidad a la propuesta ecológica, implementación de caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna.</p>	<p>Hipótesis general La implementación de caucho molido logra favorablemente mejorar la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>Es económicamente viable implementar el caucho molido a la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna.</p> <p>Las principales ventajas de aplicar caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles de la región Tacna 2024 son: Vida útil e impacto ambiental.</p> <p>La propuesta de implementación de caucho molido en la mezcla asfáltica de pavimentos flexibles en la región de Tacna es la mejor.</p>	<p>Variable independiente: Caucho molido</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> •Porcentaje de plástico utilizado en la mezcla del pavimento. •Técnicas de incorporación de plástico en el diseño del pavimento <p>Variable dependiente: Mezcla asfáltica</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> •Agregados. •Durabilidad. •Nivel de calidad. 	<p>Tipo de investigación Exploratorio</p> <p>Diseño de investigación Selección de la muestra Recopilación de datos Análisis de datos Evaluación económica Evaluación técnica Evaluación ambiental Conclusiones y recomendaciones</p> <p>Ámbito de estudio Económico Social Ambiental</p> <p>Población Pavimento flexible de la región de Tacna</p> <p>Muestra No probabilística a conveniencia de los investigadores.</p> <p>Técnicas de recolección de datos Cuestionarios Observación directa Revisión de documentos Pruebas de laboratorio Pruebas de laboratorio Entrevistas a grupos focales</p>

Anexo 2. Formato de ensayo de granulometría

Tamices ASTM	Abertura mm	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Material Obtenido	
3"					Grava \geq 3/4"	Grava
2 1/2"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"					Gravilla	
3/8"						
Nº 4					Gruesa	
Nº 8						
Nº 16					Media	Arena
Nº 30					Fina	
Nº 50						
Nº 100						
Nº 200						

CURVA GRANULOMETRICA



Anexo 3. Formato de ensayo de humedad

AGREGADO FINO

Item	Característica	Muestras	
		Ag. Fino - 1	Ag. Fino - 2
1	Masa de contenedor (g)		
2	Masa de contenedor + Masa de la Muestra húmeda (g)		
3	Masa de contenedor + Masa de la Muestra Seca (g)		
4	Masa del agua (g)		
5	Masa de la muestra seca (g)		
6	Contenido de humedad (%)		
7	Contenido humedad Prom. (%)		

AGREGADO GRUESO

Item	Característica	Muestras	
		Ag. Grueso - 1	Ag. Grueso - 2
1	Masa de contenedor (g)		
2	Masa de contenedor + Masa de la Muestra húmeda (g)		
3	Masa de contenedor + Masa de la Muestra Seca (g)		
4	Masa del agua (g)		
5	Masa de la muestra seca (g)		
6	Contenido de humedad (%)		
7	Contenido humedad Prom. (%)		

Anexo 4. Formato de ensayo de partículas fracturadas

A.- Con una Cara Fracturada

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA	RET	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C x D
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA						%

B.- Con dos Caras Fracturadas

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA	RET	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C x D
1 1/2"	1"	0				
1"	3/4"	0				
3/4"	1/2"	0				
1/2"	3/8"	0				
PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS						%

A.- PESO MUESTRA TOTAL (gr)

B.- PESO MATERIAL CARAS FRACTURADAS (gr)

C. PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS

D.- PORCENTAJE RETENIDO GRADACION ORIGINAL

E.- PROMEDIO CARAS FRACTURADAS

OBSERVACIONES.-	
------------------------	--

Anexo 5. Formato de ensayo de chatas y alargadas

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS

NORMA NTP 400.04 / ASTM D-4791

PROYECTO :
 DE CALANA , PROVINCIA DE TACNA , DEPARTAMENTO DE TACNA.
 UBICACIÓN :
 SOLICITANTE :
 MUESTRA :
 FECHA :

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO	PESO RET.	PESO RET.	% PIEDRAS	% PIEDRAS
PASA	RET	INICIAL	APLANADAS	ALARGADAS	APLANADAS	ALARGADAS
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					

INDICE DE PIEDRAS APLANADAS **Página 1** 0 %

INDICE DE PIEDRAS ALARGADAS 0 %

Observaciones : Las Muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

Anexo 6. Formato de ensayo equivalente de arena

PROYECTO :

UBICACIÓN :

SOLICITANTE :

MUESTRA :

FECHA :

ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA	
AASHTO T-176-56	

DESCRIPCION	1	2
Alto nivel material fino		
Alto nivel material arenaceo		
EQUIVALENTE DE ARENA	%	
PROMEDIO	%	

OBSERVACIONES

Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

Anexo 7. Formato ensayo peso específico

UBICACIÓN :

SOLICITANTE :

MUESTRA :

FECHA :

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE LA ARENA

NORMA ASTM C-128

MUESTRA N°		1	2
Peso de la fiola + muestra + Agua	gr.		
Peso de la fiola + Agua	gr.		
Peso de la muestra (sss)	gr.		
Volumen desplazado	cc.		
Peso específico	gr/cc.		
Promedio	gr.cc.		

ENSAYO DE ABSORCION DE LA ARENA

MUESTRA N°		1	2
Peso de la muestra (sss)	gr.		
Peso de la muestra seca	gr.		
Peso del Agua	gr.		
Porcentaje de Absorción	%		
Promedio	%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

Anexo 8. Formato de ensayo de sales solubles

ANALISIS FISICO QUIMICO

PROYECTO

SOLICITANTE

UBICACIÓN

MUESTRA

FECHA

MUESTRA	SOLIDOS SOLUBLES TOTALES ; NTP 339-152 - 2002	
	%	P.P.M
ARENA CHANCADA		

OBSERVACIONES : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

Anexo 9. Formato método Marshall

MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

Propiedades Físicas de los agregados	Ag. Fino	Ag. Grueso	Norma	Asfalto diluido	
Combinación de agregados (%)			-	Tipo de Asfalto:	RC-250
Combinación de agregados corregida (%)			-	Tipos de curado:	Rapido
Peso Especifico (g/cc)			NTP 400.022	Peso especifico (g/cc)	
Absorción (%)			NTP 400.021	Asfalto (%)	
Contenido de humedad (%)			NTP . 339.185		
Tamaño Máximo			-	Carpeta Asfáltica	
Tamaño Máximo nominal			-	Espesor (Carpeta asfáltica) (pulg)	

VOLUMEN DE MATERIALES Y PESO DE LOS MATERIALES

Materiales	Volumen absoluto (Seco) (m3)	Peso absoluto (Seco) (kg)	Corrección por humedad (m3)	Corrección por absorción (m3)	Correc. Humedad - absorción (m3)
Agregado Grueso					
Agregado Fino					
Asfalto					

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

TRABAJABILIDAD

Materiales	1 m3		1 m2		Materiales	Combinación optima	Combinación corregida
	Peso (kg)	Dosificación	Peso (kg)	Dosificación			
Agregado Grueso					Ag. Grueso (%):		
Agregado Fino					Ag. Fino (%):		
Asfalto					Asfalto (gln/m3):		

Observación:

- El diseño esta sujeto solo para este tipo de material.
- Los agregados para este diseño de mezcla asfáltica son de la cantera ARUNTA.
- Si se aplica el diseño de mezcla asfáltica con la combinación de agregados sin corregir el porcentaje de asfalto puede variar.
- El material fue proporcionado por el solicitante.