

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional De Ingeniería Civil

Tesis

**Uso del aceite residual automotriz en la mezcla
asfáltica para mejorar la resistencia del
pavimento flexible de la carretera de San Antonio
de Putina hasta Quilcapuncu,
Departamento de Puno**

Autor

Bach. Zulema Huaman Choquehuanca

Bach. Jhon Angel Ticona Chambi

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO CIVIL

Cusco – Perú

2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una licencia "Creative Commons Atribución .0 Internacional"

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Ma. Ing. Javier Francisco Alvarez Alvarez
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 10 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Uso del aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica para mejorar la resistencia del pavimento flexible de la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, Departamento de Puno

Autores:

1. Bach. Zulema Huaman Choquehuanca – EAP. Ingeniería Civil
2. Bach. Jhon Angel Ticona Chambi – EAP. Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme fuerza, sabiduría y resiliencia en cada paso de mi carrera.

A mi querida familia, por todo su apoyo y confianza, principalmente a mis padres, mi eterno agradecimiento, respeto y toda mi admiración. A mis hermanos, por su amor y paciencia, y a todos los miembros de mi familia por estar siempre a mi lado, brindándome su comprensión y ánimo en cada paso de mi camino.

A mi asesor, mi más sincero agradecimiento por su invaluable orientación y apoyo.

Zulema Huaman Choquehuanca

En primer lugar, agradezco a Dios, quien me ha brindado fortaleza, sabiduría y resiliencia en cada paso y decisión en este viaje académico, por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida.

Gracias a mi madre, por el esfuerzo dedicado para concretar mi formación profesional. A pesar de que la vida te puso muchos obstáculos, nunca perdiste la esperanza en mí, brindándome orientación y amor incondicional. Estaré eternamente agradecido contigo mamá.

Gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión, gracias a la vida por mostrarme lo bonito que es vivir y lo justa que puede llegar a ser. Por permitirme cumplir una meta más y creer en mi potencial.

Jhon Angel Ticona Chambi

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Rodolfo y Alejandrina, quienes han sido mi impulso fundamental para seguir adelante durante toda mi carrera; gracias a ellos por apoyarme siempre en cada momento que lo requería y por toda la confianza en cada reto que se me ha presentado.

A mis queridos hermanos, Zulma, Yhamileth y Aldo, por todo el apoyo incondicional, fortaleza, comprensión, guía y sobre todo el amor que me dieron. Quiero agradecerles por todo.

Zulema Huaman Choquehuanca

A mis padres, Hernán Ticona y Reyna Chambi, por formarme como la persona que soy y por ser los dos pilares más grandes de mi vida, porque todo lo que soy es gracias a ellos.

A mi tío Juan Antonio, porque, aunque no esté físicamente conmigo, sé que desde donde este siempre me estará guiando y cuidando. Siempre será mi más grande ejemplo a seguir.

A mi amada Yamilet, por darme su inmenso amor y apoyo incondicional, por haber estado conmigo en todo momento motivándome día tras día. A mis tíos y tías por siempre estar aconsejándome y apoyándome.

Jhon Angel Ticona Chambi

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.1.2. Formulación del problema	19
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1. Objetivo general.....	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. Justificación e importancia	20
1.3.1. Justificación	20
1.3.2. Importancia de la investigación	21
1.4. Delimitación del proyecto.....	22
1.5. Hipótesis y variables	22
1.5.1. Hipótesis general.....	22
1.5.2. Hipótesis específicas.....	22
1.5.3. Operacionalización de las variables	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes de la investigación	24
2.1.1. Internacionales	24
2.1.2. Nacionales.....	26

2.1.3. Locales	28
2.2. Bases teóricas.....	29
2.2.1. Concreto asfáltico	29
2.2.2. Resistencia a la compresión del pavimento flexible	32
2.2.3. Sub Rasante.....	33
2.2.4. Diseño del pavimento flexible	34
2.2.5. Estabilización de suelos	38
2.2.6. Diseño de la estructura del pavimento flexible (Método AASTHO 93)	38
2.2.7. Agregados	41
2.2.8. Aditivos.....	44
2.2.9. Aceite residual.....	44
2.2.10. Diseño de mezclas asfálticas (Ensayo Marshall)	45
2.3. Definición de términos básicos	47
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	48
3.1. Método, tipo o alcance de la investigación.....	48
3.1.1. Enfoque de la investigación	48
3.1.2. Tipo de investigación	48
3.1.3. Nivel de investigación.....	48
3.1.4. Diseño de investigación	48
3.1.5. Alcance de la investigación.....	48
3.2. Materiales y métodos	49
3.2.1. Población y muestra.....	49
3.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	52
3.2.3. Procedimiento de análisis de datos	54
3.2.4. Criterios éticos	54
3.3. Desarrollo de Resultados	55
3.3.1. Situación Actual del Pavimento Flexible	55
3.3.2. Ubicación de cantera.....	55
3.3.2. Estudio de tráfico	56

3.4. Ensayos de laboratorio del aceite.....	69
3.5. Ensayos de laboratorio de agregados	70
3.6. Elaboración de la mezcla asfalto en frío	84
3.6.1. Número de golpes	84
3.6.2. Elaboración de las briquetas	84
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
4.1. Densidad Seca de la Mezcla Asfáltica en Frío.....	89
4.2. Estabilidad de la Mezcla Asfáltica en Frío.....	91
4.3. Porcentaje de Vacíos de la Mezcla Asfáltica en Frío	94
4.4. Comparación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica patrón y modifica.97	
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
5.1. Conclusiones	108
5.2. Recomendaciones	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz Operacional de las variables	23
Tabla 2. Periodo de diseño según el Tipo de Carretera	37
Tabla 3. Carril de diseño	38
Tabla 4. Coeficiente estadístico del Z_r	39
Tabla 5. Coeficientes de Drenajes.....	40
Tabla 6. Niveles de confiabilidad sugeridos	41
Tabla 7. Niveles de confiabilidad sugeridos	42
Tabla 8. Características de los aceites usados	44
Tabla 9. Número de briquetas de asfalto a desarrollar	49
Tabla 10. Obtención de porcentajes a utilizar	50
Tabla 11. Descripción de normas a utilizar de los agregados	53
Tabla 12. Normativa a usar en las mezclas asfálticas	53
Tabla 13. Coeficiente estructural por capas	55
Tabla 14. Tasas de crecimiento de los vehículos ligeros y pesados	57
Tabla 15. Factor direccional y Factor carril	60
Tabla 16. Tasa anual de crecimiento	61
Tabla 17. Cargas en Ejes Equivalentes.	62
Tabla 18. Factores de ajuste por presión de neumático (FP) para EE.....	63
Tabla 19. Cálculo de Número de repeticiones.	64
Tabla 20. Periodo de diseño del pavimento.	66
Tabla 21. Diseño de la estructura del pavimento flexible de la carretera de San Antonio a Quilpapuncu.....	66
Tabla 22. Coeficiente estructural por capas	67
Tabla 23. Ubicación de muestreo.....	69
Tabla 24. Método de ensayo	69
Tabla 25. Datos de resultado del análisis químico del aceite.....	69
Tabla 26. Análisis granulométrico de la Piedra Chancada 1/2",	72
Tabla 27. Análisis granulométrico de la Arena Chancada.....	73
Tabla 28. Análisis granulométrico de la Arena Zarandeada Natural.....	74
Tabla 29. Análisis granulométrico del Agregado Fino.....	75
Tabla 30.. Análisis granulométrico del MEZCLA DE AGREGADOS.....	76
Tabla 31. Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.	78
Tabla 32. Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino Chancada 78	
Tabla 33. Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino Natural ...	78
Tabla 34. Resultados del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en piedra chancada 1/2" .	80

Tabla 35. Resultados del Ensayo de Partículas fracturadas (01 cara)	81
Tabla 36. Resultados del Ensayo de Partículas fracturadas (02 caras).....	81
Tabla 37.. Resultados del Ensayo de equivalente de arena.	82
Tabla 38. Resultados del Ensayo Abrasión de los Ángeles.....	83
Tabla 39. Cálculo de Número de repeticiones.	84
Tabla 40. Dosificación de la Mezcla Asfáltica en frío Patrón.....	85
Tabla 41. Dosificación de la Mezcla Asfáltica en frío en porcentajes	87
Tabla 42. Dosificación de la Mezcla Asfáltica en frío	88
Tabla 43. Resumen de los resultados de la densidad seca.....	90
Tabla 44. Resumen de los resultados de la estabilidad	93
Tabla 45. Resumen de los resultados del porcentaje de vacíos.....	96
Tabla 46. Resumen de los resultados de la resistencia a la compresión.....	99
Tabla 47. Resumen de los resultados de la resistencia a la tracción	101
Tabla 48. Correlación de los valores de la máxima densidad seca	103
Tabla 49. Correlación de los valores obtenidos de la estabilidad	103
Tabla 50. Correlación de los valores obtenidos del porcentaje de vacíos	104
Tabla 51. Correlación de los valores obtenidos de la resistencia a la compresión.....	104
Tabla 52. Correlación de los valores obtenidos con la dosificación óptima y dosificación patrón	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fisuras longitudinales.....	16
Figura 2. Carreteras pavimentadas en la red vial nacional.....	17
Figura 3. Pavimento de la carretera.	17
Figura 4. Tramo siguiente de la carretera.....	18
Figura 5. Esquema de deterioro de un pavimento a través del tiempo.	18
Figura 6. Capa base del Pavimento flexible.....	31
Figura 7. Estructura de un Pavimento Flexible.....	32
Figura 8. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico de la Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos PMS	35
Figura 9. Tabla de pesos y medidas de buses.....	36
Figura 10. Tabla de pesos y medidas de camiones.....	37
Figura 11. Curva granulométrica del agregado fino	43
Figura 12. Curva granulométrica del agregado grueso	43
Figura 13. Flujo de procesos de la tesis de investigación	51
Figura 14. Flujo de procesos de la tesis de investigación	54
Figura 15. Ubicación de cantera	56
Figura 16. Conteo de vehículos ligeros y pesados	59
Figura 17. Resumen de conteo de vehículos ligeros y pesados	65
Figura 18. Secado de las muestras	70
Figura 19. Lavado del agregado grueso por.....	70
Figura 20. Tamizado del agregado para el ensayo de granulometría	71
Figura 21. Determinación de la distribución de partículas del agregado.	71
Figura 22. Curva granulométrica de la Piedra Chancada 1/2"	72
Figura 23. Curva granulométrica de la Arena Chancada	73
Figura 24. Curva granulométrica de la Arena Zarandeada Natural	74
Figura 25. Curva granulométrica del Agregado Fino	75
Figura 26. Curva granulométrica de la mezcla de agregados.	76
Figura 27. Ensayo de absorción y gravedad específica.	77
Figura 28. Determinación de partículas chatas y alargadas	79
Figura 29. Determinación de partículas fracturadas.	80
Figura 30. Realización del ensayo equivalente de arena.....	82
Figura 31. Ensayo Abrasión de los Ángeles.	83
Figura 32. Densidad seca a los 45° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	89
Figura 33. Densidad seca a los 60° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	89
Figura 34. Densidad seca a los 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	90

Figura 35. Densidades secas en temperaturas de 45°, 60° y 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	91
Figura 36. Estabilidad a los 45° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	92
Figura 37. Estabilidad a los 60° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	92
Figura 38. Estabilidad a los 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	93
Figura 39. Estabilidad en temperaturas de 45°, 60° y 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	94
Figura 40. Porcentaje de vacíos a los 45° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	95
Figura 41. Porcentaje de vacíos a los 60° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	95
Figura 42. Porcentaje de vacíos a los 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	96
Figura 43. Porcentaje de vacíos en temperaturas de 45°, 60° y 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	96
Figura 44. Resistencia a la compresión a los 45° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	97
Figura 45. Resistencia a la compresión a los 60° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	98
Figura 46. Resistencia a la compresión a los 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	98
Figura 47. Resistencia a la compresión en temperaturas de 45°, 60° y 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	99
Figura 48. Resistencia a la tracción a los 45° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3% ..	100
Figura 49. Resistencia a la tracción a los 60° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3% ..	100
Figura 50. Resistencia a la tracción a los 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3% ..	101
Figura 51. Resistencia a la tracción en temperaturas de 45°, 60° y 75° usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%	102

RESUMEN

La presente tesis propone investigar el uso del aceite residual automotriz como aditivo en mezclas asfálticas para mejorar la resistencia del pavimento flexible en la carretera que conecta San Antonio de Putina con Quilcapuncu, en el departamento de Puno. De este modo, se busca determinar cómo este material reciclado puede incrementar la durabilidad y la resistencia a la compresión del pavimento, ofreciendo una solución sostenible y económica.

El estudio, tiene como objetivo principal determinar la mejora de la resistencia del pavimento flexible empleando el aceite residual automotriz en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu en el departamento de Puno. Para ello, se realizó un estudio de tráfico para determinar la situación actual del pavimento flexible. Asimismo, se realizaron ensayos de laboratorio para los agregados y el aceite. Además, se emplearon briquetas para los ensayos de densidad seca, estabilidad, porcentaje de vacíos y resistencia a la compresión y tracción.

Entre los principales hallazgos, se obtuvo que al usar un 1% de adición de aceite residual, la muestra asfáltica en frío supera a la muestra patrón en la mayoría de sus propiedades. Por lo tanto, se concluye que al usar un 1% de dosificación se puede obtener una mayor durabilidad y resistencia al pavimento flexible. Finalmente, se recomienda el uso de este aditivo, ya que está relacionado con mejoras significativas en la resistencia del pavimento, validando el uso del aceite residual como una alternativa viable y ecológica para la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales.

Palabras clave: Aceite residual automotriz, mezcla asfáltica en frío, pavimento flexible, resistencia.

ABSTRACT

The present thesis proposes to investigate the use of automotive waste oil as an additive in asphalt mixes to as an additive in asphalt mixtures to improve the strength of flexible pavement on the resistance of the flexible pavement on the road that connects San Antonio de Putina with Quilcapuncu Putina with Quilcapuncu, in the department of Puno. In this way, the aim is to determine how this recycled material can increase the durability and the compressive strength of the pavement, offering and compressive strength of the pavement, offering a sustainable and economical solution. The main objective of the study is to determine the improvement of the strength of flexible pavement using waste automotive oil on the San Antonio the road from San Antonio de Putina to Quilcapuncu in the department of Puno. For this purpose, a traffic study was carried out to determine the current situation of the flexible pavement. In addition, laboratory tests were also conducted for aggregates and oil. In addition, briquettes were used dry density, stability, void ratio and compressive and tensile strength tests.

Among the main findings, it was obtained that by using 1% residual oil addition, the cold asphalt sample outperforms the standard sample in most of its properties. Therefore, it is concluded that by using a 1% dosage, greater durability and resistance to the flexible pavement can be obtained. Finally, the use of this additive is recommended, since it is related to significant improvements in pavement resistance, validating the use of residual oil as a viable and ecological alternative for the construction and maintenance of road infrastructures.

Keywords: Automotive residual oil, cold mix asphalt, flexible pavement, resistance.

INTRODUCCIÓN

El correcto aprovechamiento de los recursos renovables y sostenibles se ha convertido en un objetivo primordial en la construcción de infraestructuras viales. En este marco, la investigación se centra en el uso del aceite residual automotor como sustituto creativo para reforzar el pavimento flexible en la ruta del departamento de Puno entre San Antonio de Putina y Quilcapuncu.

Por ello, se busca explorar y evaluar el potencial de este material reciclado para perfeccionar la resistencia y eficiencia del pavimento, considerando su impacto en la región en términos de sostenibilidad ambiental y económica.

Sucintamente, la investigación se encuentra distribuida de la siguiente manera:

En el primer capítulo, se analiza la relevancia de efectuar esta investigación científica, considerando la definición del problema y su justificación. De manera análoga, se presentan los objetivos que guiarán el estudio para abordar la pregunta de investigación. Finalmente, se presenta la variable principal y su definición operativa con el propósito de mantener un lenguaje uniforme en relación con su significado.

En el segundo capítulo, se realiza un esbozo de los principales antecedentes de la investigación. Además, se ofrecen los marcos teóricos que buscan sustentar conceptualmente el estudio y darle un enfoque científico.

En el tercer capítulo, se analizan los enfoques y la trascendencia del estudio, así como la estrategia que condujo a su investigación. Además, se detallan las descripciones demográficas, la muestra, los métodos, los recursos y el papeleo empleado para el análisis del problema planteado.

En el cuarto capítulo, se analiza el impacto de la evaluación realizando comparaciones con los datos de fondo adquiridos. Además, se elabora una explicación de los resultados.

En el quinto capítulo, se exponen las conclusiones y se presentan las recomendaciones con el propósito de establecer un precedente que pueda servir de referencia para futuros investigadores.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Las grietas, deformaciones, erosión de capas de estructura, y otros daños son los cinco tipos reportados en los pavimentos flexibles. Por este motivo, las tareas de mantenimiento y restauración de pavimentos no son sencillas, ya que encontrar las causas de estas fallas es un tema complejo. Como consecuencia de los esfuerzos de mantenimiento, debemos lidiar con problemas recurrentes en las carreteras que usamos (Álzate, 2019, p. 16).

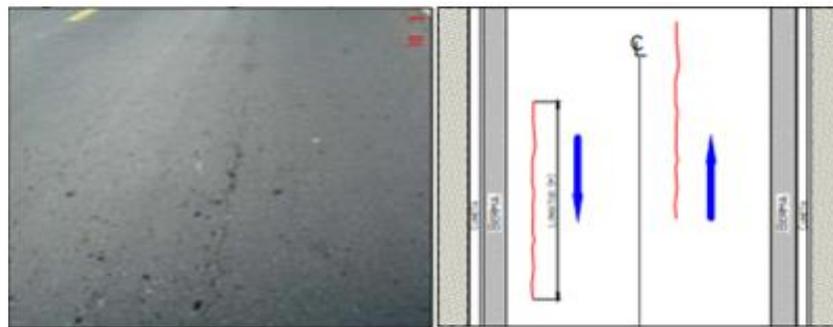


Figura 1. Fisuras longitudinales.

Fuente: *Extraída de “Sistema de clasificación de severidad de daños en pavimentos flexibles para determinar posibles intervenciones” (Álzate, 2019, p. 16).*

Dentro del informe del MTC (2018), se señala que el gobierno realizó gastos en infraestructura en 2019. Según este informe, los gobiernos regionales solo lograron ejecutar el 48,1 % de su Presupuesto Institucional Modificado (PIM) a través de canales departamentales, en comparación con el 94,5 % de los gobiernos nacionales. Algunas regiones, como Apurímac (91,7 %), San Martín (93,8 %), Lambayeque (99,6 %) y Ucayali (100 %), lograron una mayor implementación, a diferencia de Amazonas (7,7 %), La Libertad (7,4 %), Madre de Dios (3,6 %) y Piura (1,3 %), que mostraron las tasas más bajas. La Figura 2 muestra una deficiencia en la infraestructura vial en Perú.

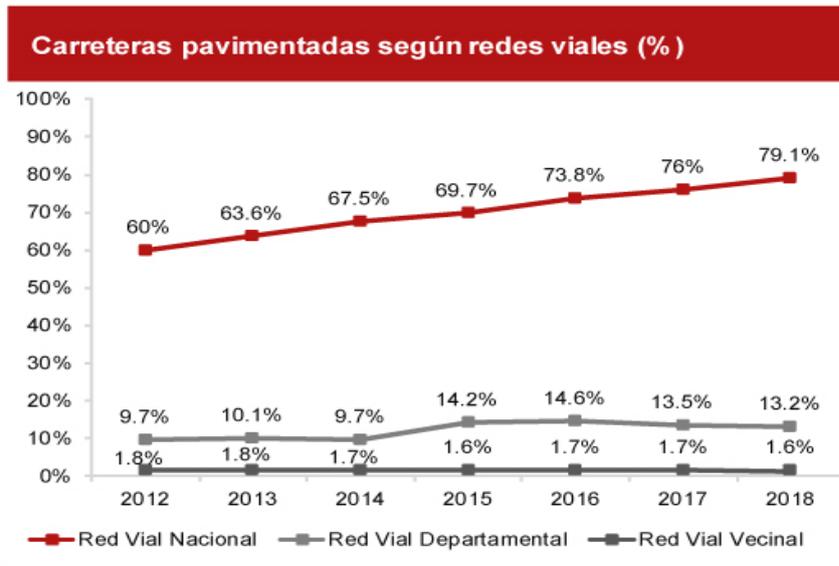


Figura 2. Carreteras pavimentadas en la red vial nacional.

Fuente: *Extraída de Comex Perú (2021).*

Según el Sistema de Gestión de Aceites Industriales en España (SIGAUS, 2020), se afirma que el aceite residual tiene la potencialidad de contaminar el agua, causando que las criaturas vivientes que residen allí mueran asfixiadas. En el aire, la eliminación de aceite produce problemas de contaminación y emisión de vapores altamente nocivos, mientras que en la tierra, la eliminación de aceite usado causa daños al suelo, alterando la actividad biológica y química del mismo. Esto genera una consecuencia negativa en la fertilidad del suelo.



Figura 3. Pavimento de la carretera.

Fuente: *Elaboración propia.*

En zonas rurales, muchos caminos sin pavimentar presentan suelos sueltos y mal compactados, lo que genera baja adherencia, levantamiento de polvo y escasa visibilidad. Además, la infiltración de agua reduce la capacidad portante de la base, acelerando su deterioro. Estas condiciones no solo afectan la durabilidad del camino, sino que también incrementan el

desgaste de neumáticos y el deterioro del motor de los vehículos que los transitan (Jalanoca, 2021, p. 28).

Asimismo, desde San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, la carretera se encuentra en un terrible estado, aunque existen pequeños tramos que se encuentran en buen estado, es necesario analizar los de mayor deterioro (kilómetro 94, 95 y 96). Esta situación es perjudicial para los transportistas que transcurren por esta ruta.



Figura 4. Tramo siguiente de la carretera

Fuente: *Elaboración propia.*

Cabe señalar que una adecuada infraestructura vial mejora el acceso a los transportes, reduciendo considerablemente la contaminación, ya que acorta los tiempos de viaje de vehículos y peatones, mejorando la estabilidad de los residentes. Por este motivo, la presente investigación cuantitativa, pretende mejorar la resistencia de los pavimentos flexibles de manera ecológica, evitando la recurrencia de futuros accidentes.

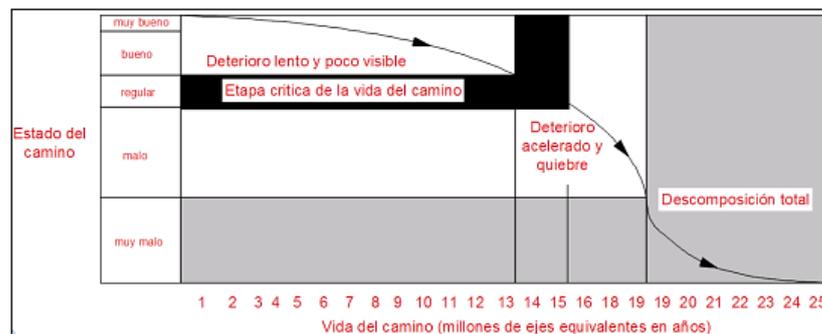


Figura 5. Esquema de deterioro de un pavimento a través del tiempo.

Fuente: *Extraída de Camacho (2015)*

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

¿De qué manera la inclusión de aceite residual automotriz en la preparación del pavimento flexible mejorará su resistencia a la compresión en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno?

Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto al usar un 1 %, un 2 % y un 3 % de aceite residual automotriz en la máxima densidad seca de la mezcla asfáltica en frío en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno?
- ¿Cuánto difiere la estabilidad de la mezcla asfáltica en frío tras usar el 1 %, el 2 % y el 3 % de aceite residual automotriz?
- ¿Cuál será la diferencia del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en frío con la adición de un 1 %, un 2 % y un 3 % de aceite residual automotriz?
- ¿Cuánto es la diferencia entre la mezcla asfáltica patrón y modificada?
- ¿Cuál es la dosificación óptima para usar el aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la mejora de la resistencia a la compresión del pavimento flexible empleando el aceite residual automotriz en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la máxima densidad seca al usar el 1 %, el 2 % y el 3 % de aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica en frío.
- Calcular la estabilidad de la mezcla asfáltica en frío aplicando el 1 %, el 2 % y el 3 % de aceite residual automotriz.
- Calcular el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en frío aplicando el 1 %, el 2 % y el 3 % de aceite residual automotriz.
- Comparar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica patrón y modificada.
- Determinar la dosificación óptima de la mezcla asfáltica usando el aceite residual automotriz.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

Para lograr el objetivo principal del estudio, se propone usar aceite residual automotriz como aditivo en la mezcla asfáltica. Esta modificación permitirá no solo extender significativamente la durabilidad del pavimento más allá del tiempo promedio de servicio, sino también optimizar los costos de mantenimiento y rehabilitación en proyectos futuros. Asimismo, se busca mitigar los problemas de salud respiratoria en la población local, reduciendo la emisión de partículas contaminantes generadas por el tráfico vehicular. Finalmente, la mejora en las propiedades del pavimento contribuirá a disminuir el desgaste prematuro de los neumáticos, previniendo accidentes relacionados con fallas estructurales de la vía.

Justificación social

Cuando existen tramos de un camino con transitabilidad restringida o interrumpida durante la temporada de lluvias, en su mayoría, esto se debe a que el suelo del camino es cohesivo o maleable, lo que ocasiona profundos surcos. Esto genera altos costos de flete, debido al mayor tiempo y costo de operación. Al incorporar este aceite en la mezcla asfáltica, se presenta un método alternativo para ascender las características mecánicas y lograr una transitabilidad estándar de la carretera.

Estudios recientes han evidenciado que, al incorporarse en porcentajes adecuados, este residuo puede aumentar la flexibilidad de la mezcla, reducir la fisuración por fatiga y mejorar la adhesión entre el asfalto y los agregados. Además de sus beneficios técnicos, su aplicación también contribuye a la sostenibilidad ambiental al promover el reciclaje de residuos peligrosos. Por lo tanto, esta investigación no solo busca optimizar el comportamiento mecánico del pavimento, sino también fomentar prácticas responsables en la gestión de residuos, asegurando una vía más segura y duradera para los usuarios.

Justificación teórica

Actualmente, en la construcción de carreteras, debido al alto presupuesto del pavimento rígido, se opta por pavimentos flexibles, los cuales presentan una menor durabilidad. Para poder optimizar las características del pavimento flexible, se emplea la química dura, y aunque en la actualidad se utilizan diversos materiales fácilmente disponibles como cal, cemento, polímeros y aditivos químicos, se plantea en este estudio evaluar la incorporación de aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica. Aquí, se determinará qué proporción de aceite residual es óptima para mejorar las propiedades del pavimento, incrementando su resistencia para soportar mayores cargas sin causar grandes daños ni afectar a la población.

Justificación metodológica

A nivel metodológico, se busca proporcionar un contexto de ingeniería para la modificación de mezclas asfáltica mediante la aplicación del aditivo, considerándose un método innovador que reduce costos y ahorra tiempo, a su vez que aumenta la resistencia y durabilidad del pavimento flexible. La validación y las pruebas se realizaron mediante la combinación de aceite automotriz residual con una mezcla bituminosa en el laboratorio. De este modo, los resultados pueden ser sistematizados en una propuesta y contribuir a próximas investigaciones en el campo.

Justificación práctica

Debido a que el pavimento flexible de la carretera presenta deterioro por el uso y condiciones climáticas, la presente propuesta plantea una oportunidad de mejora. Así pues, utilizar aceite residual automotriz en la combinación asfáltica puede incrementar la resistencia del pavimento flexible, lo que conlleva una mayor durabilidad frente al tráfico vehicular y las condiciones ambientales.

La selección de las dosificaciones del 1 %, el 2 % y el 3 % de aceite residual automotriz se basó en el análisis de antecedentes y en ensayos experimentales previos, los cuales indicaron que estos rangos de adición presentaban mejoras significativas en la resistencia de la mezcla asfáltica en frío. Esto se traduce en una mayor durabilidad del pavimento, mejorando su desempeño estructural, y permitiendo generar resultados comparables sobre la base de investigaciones previas. Todo esto optimiza la aplicabilidad de los hallazgos.

1.3.2. Importancia de la investigación

El estudio busca mejorar la resistencia en las mezclas asfálticas en beneficio de los pavimentos flexibles, manteniéndolos en condiciones seguras, cómodas y rentables. Para ello, se usará aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica, estableciendo indicadores que puedan mostrar las repercusiones del aceite residual en las obras civiles.

Dicho esto, en la zona estudiada existe un aumento del tráfico de automóviles, lo que facilitará el fácil acceso al aceite de motor usado. Además, siendo este aditivo un alto contaminante, debe ser recolectado para su reciclaje, contribuyendo a la disminución de la contaminación ambiental. En la actualidad, el aceite automotriz no cuenta con una supervisión efectiva, razón por la cual se propone su reutilización.

1.4. Delimitación del proyecto

Delimitación conceptual

La indagación abarcará conceptos clave como la mecánica de pavimentos, propiedades fisicoquímicas del asfalto, técnicas de mezcla y aplicación de asfaltos modificados, así como metodologías para evaluar la resistencia y durabilidad del pavimento.

Delimitación espacial

Se ejecuta en la carretera que conecta San Antonio de Putina con Quilcapuncu, en el departamento de Puno, Perú. Esta área se selecciona debido a las condiciones climáticas y geográficas particulares que afectan la durabilidad del pavimento, así como la disponibilidad de datos históricos sobre el rendimiento de la carretera. Además, se realizan pruebas de laboratorio para obtener datos representativos y concluyentes.

Delimitación temporal

Este estudio fue desarrollado en un tiempo de 7 meses. Este marco temporal permitirá evaluar tanto las condiciones iniciales del pavimento como los efectos a corto y mediano plazo del uso del aditivo en su resistencia y durabilidad.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1 Hipótesis general

Existe una mejora de la resistencia a la compresión del pavimento flexible empleando el aceite residual automotriz en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno.

1.5.2 Hipótesis específicas

- La máxima densidad seca al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica es óptima.
- La estabilidad al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica es superior a la estándar.
- El porcentaje de vacíos de la mezcla de asfalto es superior usando el aceite reciclado automotriz.
- La mezcla asfáltica modificada muestra mejoras al compararse con la muestra patrón.
- La dosificación óptima de aceite residual tiene una variación significativa en relación a la muestra estándar.

1.5.3 Operacionalización de las variables

Variable independiente: Aceite residual automotriz.

Variable dependiente: Resistencia a la compresión del pavimento flexible.

Tabla 1. Matriz Operacional de las variables.

Variab	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Escala valorativa (Niveles o rangos)
Resistencia a la compresión del pavimento flexible	Capacidad de un pavimento flexible para soportar las cargas aplicadas sin deformarse o deteriorarse significativamente. Es un indicador clave de la durabilidad y la vida útil de un pavimento (Crispín, 2018)	Variable de diseño Variable económica	Estudio de tráfico	Nominal	Muy malo Malo Regular Bueno Muy bueno
Aceite residual automotriz	Aceites de base mineral que han perdido sus propiedades características, haciéndolos inapropiados para su uso posterior (Huaquisto, 2014).	Manejo del aceite usado Proceso del aceite usado	Método Marshall	Intervalo	Incompleto Regular Bueno Excelente

Fuente: *Elaboración propia.*

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Del Castillo y Orobio (2020) en su estudio titulado *Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite de motor usado en un suelo fino de subrasante*, presentan una evaluación geotécnica preliminar de una subrasante que contiene aceite automotriz residual, siendo este, un residuo producido en grandes volúmenes que desemboca en ríos y embalses naturales, causando daños ambientales y a la salud humana. Este estudio plantea un diseño correlacional y experimental entre sus variables de permeabilidad y el contenido de aceite. Según estos hallazgos, la resistencia de compresión sin fin disminuye significativamente a medida que aumenta el contenido de AMU, así como una tendencia similar en la deformación unitaria. Además, la resistencia a aceptar contenidos de AMU se mantiene constante del 0 % al 8 %, con una disminución significativa únicamente después del 8 % de aceite.

El estudio aporta a la investigación mostrando de qué forma el AMU afecta las propiedades de los materiales de construcción, específicamente la resistencia y deformación. Aunque su estudio se enfoca en suelos de subrasante, los resultados sobre la reducción de resistencia con mayor contenido de AMU son relevantes para la mezcla asfáltica, proporcionando un punto de referencia para evaluar el impacto del aceite en el pavimento flexible y su límite de tolerancia óptimo.

Por su parte, González (2019), en su estudio titulado *Comportamiento de mezclas asfálticas con pavimento reciclado y aceite utilizado de motor como rejuvenecedor*, examinó la conducta de combinaciones de asfalto empleando pavimento reciclado y aceite lubricante usado como agente revitalizador. Se seleccionaron diversas secciones de la carretera Panamericana Sur, donde se aplicaron mezclas asfálticas modificadas con diferentes proporciones de superficie renovada y lubricante automotriz. Además, se efectuaron ensayos de laboratorio para analizar propiedades mecánicas como la tenacidad a la tracción indirecta, módulo resiliente y resistencia a la deformación perpetua.

Los hallazgos mostraron que las mezclas con un 30 % de pavimento reciclado y un 6 % de aceite usado de motor presentaron un incremento del 18 % en la resistencia a la tracción indirecta y un 22 % en la sección resiliente, comparado con mezclas asfálticas convencionales. Además, la deformación permanente se redujo en un 25 % bajo condiciones de carga repetitiva. Factores como la proporción de pavimento reciclado (OR 1,275 [IC 95 % 1,192–1,364], $P < 0,001$) y el contenido de aceite usado (OR 1,336 [IC 95 % 1,264–1,412], $P < 0,001$) se asociaron significativamente con mejoras en las propiedades mecánicas. El estudio concluyó que el uso

de pavimento reutilizado y aceite usado de motor como rejuvenecedor en mezclas asfálticas puede mejorar notablemente la resistencia del pavimento, ofreciendo un resultado sostenible y productivo para la rehabilitación de infraestructuras viales.

Los hallazgos ofrecen un enfoque sostenible y eficiente para rehabilitar infraestructuras viales, alineándose con el objetivo de mejorar la resistencia del pavimento flexible en la carretera de San Antonio de Putina a Quilcapuncu.

En esta línea, Alarcón et al. (2020), en su estudio titulado Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso, realizado en Colombia, exponen la viabilidad del uso de barro grasoso como consolidante para sustancias granulares y suelos de sustrato en un esfuerzo por mejorar las propiedades de resistencia y plasticidad. En este caso, la proporción óptima de lodo aceitoso mejorado, tipo confirmado, es del 6 %, dando como resultado un incremento del 40 % en el módulo resiliente con respecto al módulo resiliente del material granular en estado original. Se sugiere que se use arcilla aceitada al 4 % para remediar la subrasante.

Aquí, se mencionan dos beneficios fundamentales emergentes del análisis económico del uso potencial de materiales granulares estabilizados como capas en estructuras de pavimento flexible. Primero, al sustituir una subbase granular típica por una capa granular estable que contiene un 6 % de lodos de petróleo, se reduce el grosor de la estructura y disminuyen los costes de construcción por m³. Aunque el estabilizador es un lodo aceitoso, es muy similar al aceite de automóvil reciclado, así, los autores indican que el lodo aceitoso se puede utilizar para optimizar las características del suelo.

En particular, este trabajo demuestra cómo un material aceitoso mejora la resistencia y reduce el espesor requerido en la estructura del pavimento, lo que sugiere que el aceite residual automotriz podría tener un efecto similar al incrementar la resistencia del pavimento flexible. Además, el uso de materiales estabilizados con aceites como aditivos ayuda a optimizar los costos de construcción y mejora la durabilidad, factores relevantes en la investigación propuesta.

Balao et al. (2019), en su artículo *Automotive waste oil as an additive in concrete mixtures: its use is feasible*, analiza el efecto de la inclusión de Aceite Residual Automotriz (ARA) en diferentes dosificaciones en las propiedades del concreto. La metodología utilizada incluyó la caracterización física del ARA. Además, se emplearon métodos de ensayo estandarizados de la ASTM para llevar a cabo estas evaluaciones. El aporte principal del estudio es comprobar que la adición de ARA al hormigón puede afectar significativamente sus propiedades mecánicas. Los resultados mencionan que esta resistencia con la cantidad ideal de ARA es menor en un 9 %.

Este antecedente respalda la viabilidad de utilizar residuos de aceite automotriz en materiales de construcción, mostrando que, aunque afecta la resistencia, su uso es posible y puede tener aplicaciones prácticas en la mejora de propiedades específicas de materiales, como en mezclas asfálticas.

2.1.2. Nacionales

Daniel y Crispin (2019), en su estudio titulado *Análisis de pavimento flexible reforzado con fibras de acero 4D mediante la metodología de desgaste HDM-IV, Trujillo, La Libertad, Perú 2018*, buscan evaluar el rendimiento y resistencia de estos pavimentos bajo condiciones de desgaste, considerando factores específicos de la región. Se ejecutó una metodología con enfoque cuantitativo y un diseño no experimental. La muestra estuvo compuesta de porciones típicas de un suelo flexible en Trujillo que había sido fortalecido con fibras de acero 4D. Además, se empleó la técnica de desgaste HDM-IV para evaluar el estado de los pavimentos.

Los resultados obtenidos revelaron datos significativos sobre la resistencia y durabilidad de los pavimentos bajo condiciones específicas de desgaste en la región mencionada. Como conclusión, se destacó la relevancia de considerar el reforzamiento con fibras 4D para mejorar la resistencia de los pavimentos flexibles en Trujillo, proporcionando información valiosa para futuras intervenciones y diseños de infraestructura vial. El estudio proporciona una referencia clave para la tesis sobre el uso de aceite residual automotriz en mezclas asfálticas, ya que ambos trabajos buscan mejorar la resistencia de los pavimentos flexibles. Los autores se enfocan en el uso de fibras de acero 4D, mientras que esta tesis se centra en la incorporación de aceite residual como aditivo.

Laupa (2021) investiga el efecto del uso de aditivos reciclados en mezclas asfálticas para la mejora de las propiedades del pavimento flexible. Se seleccionaron tramos de la carretera Av. Naranjal para aplicar mezclas asfálticas modificadas con aceite residual automotriz. Además, se ejecutaron exámenes de resistencia a la fatiga, trabajabilidad y estabilidad en laboratorio, y se llevaron a cabo evaluaciones in situ de la deformación y fatiga del pavimento. Los resultados indicaron una mejora en las propiedades de la mezcla asfáltica al emplear un contenido de asfalto del 6.35%, un porcentaje de vacíos del 14.28% y una trabajabilidad adecuada a una temperatura de 150 °C, correspondiente al 3.45%. Asimismo, se obtuvo una estabilidad incrementada en 16.22% en comparación con la mezcla patrón. Se concluye que la incorporación del 4% de aceite residual automotriz representa el porcentaje óptimo para potenciar el desempeño de la mezcla, ya que, al exceder dicho valor, el material comienza a perder sus propiedades ligantes.

El estudio concluye señalando que el uso de aceite remanente automotriz como aditivo en mezclas asfálticas es una alternativa viable para mejorar la durabilidad del pavimento en

regiones de alta variabilidad climática. Además, se observó una reducción en la formación de grietas y deformaciones durante el primer año de monitoreo, lo que respalda la viabilidad del aceite automotriz como aditivo en pavimentos, especialmente en regiones con alta variabilidad climática. Este antecedente refuerza la idea de que el aceite residual automotriz puede ser una opción efectiva y sostenible para mejorar la durabilidad de los pavimentos.

En esta línea, Villanueva (2022), en su estudio titulado *La adición del aceite residual automotriz mejora la estabilización de subrasante de la carretera afirmada Dv. Chirinos – Chirinos, Cajamarca, 2021*, se propuso evaluar el efecto del residuo de aceite en la consolidación de la base de la carretera en la región de Cajamarca. La metodología adoptada consistió en la recopilación de muestras de subrasante de la carretera y la adición controlada de aceite residual automotriz. Mediante pruebas de laboratorio y análisis de propiedades mecánicas, se evaluaron los efectos de esta adición en la resistencia y estabilidad de la subrasante.

Los resultados demostraron un incremento significativo en la resistencia y capacidad portante de la base con el aceite. En conclusión, la incorporación de este aceite es una táctica viable para optimizar el rendimiento y estabilidad de las carreteras pavimentadas, particularmente en zonas como Cajamarca, donde este tipo de mejoras podría tener un impacto positivo en la infraestructura vial. De manera análoga, el estudio demostró que la adición de aceite residual automotriz a la subrasante de carreteras incrementó significativamente la resistencia y capacidad portante. Este hallazgo respalda la tesis que propone usar el mismo aceite en la mezcla asfáltica, resaltando su potencial para optimizar la durabilidad y estabilidad del pavimento en infraestructuras viales de zonas como Puno.

Santa Cruz (2021), en su investigación *Análisis de nuevas mezclas asfálticas en caliente utilizando material asfáltico reciclado de la Av. Andrés Avelino Cáceres - Provincia de Concepción 2020*, plantea como objetivo efectuar un análisis detallado de mezclas asfálticas en caliente usando asfalto reciclado en la Provincia de Concepción durante el año 2020. La fórmula adoptada fue una investigación aplicada con un enfoque experimental, donde se llevaron a cabo evaluaciones de laboratorio para evaluar las propiedades de estas mezclas asfálticas con material reciclado. La muestra estuvo compuesta por muestras representativas, seleccionadas y procesadas para la adquisición de material asfáltico reciclado. Se realizó test de laboratorio para evaluar la durabilidad, la robustez del módulo, la tenacidad a la compresión y otras características pertinentes de las combinaciones de asfalto.

Los descubrimientos mostraron mejoras significativas en la resistencia y durabilidad de las mezclas asfálticas modificadas, indicando un potencial positivo para la aplicación de material asfáltico reciclado. Dicho esto, el estudio ofrece un aporte relevante a la investigación sobre el uso de material reciclado en mezclas asfálticas, demostrando que estas combinaciones mejoran

significativamente las propiedades mecánicas y la durabilidad del pavimento. Este antecedente refuerza la idea de que el uso de materiales reciclados no solo disminuye el impacto ambiental, alineándose con los objetivos de la investigación sobre el uso de aceite residual automotriz en mezclas asfálticas.

2.1.3. Locales

Jalanoca (2021), condujo un estudio titulado *Mejoramiento de la subrasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021*. El objetivo primordial de este estudio fue examinar cómo la incorporación de aceite residual de vehículos de motor a la superficie subterránea podría mejorar las características de la carretera. Por ello, se empleó una metodología aplicada de enfoque cuantitativo. La muestra de estudio incluyó segmentos de la carretera Platería Perka en Puno. El autor usó porcentajes de 1.5 %, 2.5 %, 3.5 % y 4.5 %.

Por consiguiente, la densidad seca más alta posible del suelo natural es de 2056 g/cm³, y esta se puede aumentar a 2060 g/cm³, 2077 g/cm³, 2086 g/cm³ y 2,006 g/cm³, añadiendo los porcentajes de aceite residual, respectivamente. Los resultados demostraron que la incorporación de aceite residual contribuyó al mejoramiento de la fortaleza y longevidad del pavimento. La conclusión de esta investigación resalta que este aditivo en la subrasante puede ser una táctica útil para optimizar las características del pavimento y la carretera en general, proporcionando beneficios en términos de resistencia y durabilidad.

En efecto, el estudio proporciona un aporte relevante a la investigación sobre el uso de aceite residual automotriz en el mejoramiento de pavimentos, al demostrar que su incorporación en la subrasante mejora las características físicas del suelo y, por lo tanto, la durabilidad de la carretera. La investigación se centró en la carretera Platería Perka, en Puno, utilizando diferentes porcentajes de aceite residual (1.5 %, 2.5 %, 3.5 % y 4.5 %) y evaluando sus efectos sobre la densidad seca del suelo. Los resultados mostraron incrementos en la densidad a medida que se aumentaba el porcentaje de aceite residual, lo que sugiere una mayor resistencia y longevidad del pavimento. Este antecedente contribuye a la investigación del uso de aceite residual automotriz en mezclas asfálticas, al resaltar su potencial para optimizar las propiedades de los pavimentos y mejorar la calidad de las infraestructuras viales, especialmente en términos de durabilidad.

En el estudio de Dionicio (2022) titulado *Diseño de pavimento flexible mediante metodología AASHTO 93 para mejoramiento de serviciabilidad de carretera vecinal en el departamento de Puno*, tiene como finalidad optimizar la capacidad de servicio de una carretera en el departamento de Puno usando la técnica AASHTO 93 para diseñar pavimentos flexibles. La metodología consta de emplear la técnica para determinar espesores y características de los

materiales de pavimentación. Para llevar a cabo el estudio, se hicieron análisis de tráfico, análisis de los materiales disponibles y cálculos de espesores de pavimento. Las evidencias determinaron que el diseño propuesto complacía las necesidades de capacidad estructural y serviciabilidad para la carretera vecinal en cuestión. Esto se complementa con la innovación de la investigación actual, que añade aceite residual automotriz como aditivo para extender la vida útil del pavimento, optimizando costos y mejorando la resistencia del asfalto en la región de Puno.

Finalmente, Paucar (2019) en su estudio de *Evaluación de pavimentos flexibles y rígidos aplicando las metodologías de inspección visual de zonas y rutas en riesgo e índice de condición del pavimento para el mantenimiento vial, caso de la Av. Floral y Jr. Carabaya, Puno*, propuso efectuar una evaluación integral de los pavimentos rígidos y flexibles, aplicando el índice de estipulación del pavimento, con la finalidad de proponer estrategias efectivas para el mantenimiento vial. La metodología empleada constó de una investigación aplicada, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos. Aquí, se llevaron a cabo inspecciones visuales detalladas en zonas y rutas identificadas como críticas para evaluar la calidad estructural de la infraestructura vial. Los resultados revelaron la presencia de áreas con alto riesgo de deterioro, especialmente en las secciones de pavimento flexible.

Además, se identificaron patrones de deterioro específicos y se estableció una correlación entre la inspección visual y los resultados del índice de condición. En conclusión, la aplicación conjunta de las metodologías de inspección visual y el índice de estipulación del pavimento permitió una evaluación más exacta y detallada de los pavimentos, proporcionando una base sólida para la planificación efectiva del mantenimiento vial. Esto subraya la importancia de estrategias de mantenimiento vial efectivas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Concreto asfáltico

2.2.1.1 Pavimentos

Estructuras de varias capas construidas sobre la subrasante de la carretera; de esta manera, es posible aguantar y repartir las cargas creadas por los vehículos, optimizando el tráfico y comodidad. Las capas son tratadas con distintos métodos de construcción para formar una superficie fuerte que brinde la firmeza y resistencia requeridas para aguantar las cargas del tráfico. Las funciones esenciales de un pavimento abarcan su capacidad para sostener cargas del tránsito, soportar las condiciones climáticas, tener una textura apropiada para la circulación vehicular, ser duradero, rentable y reducir el ruido producido por los vehículos (MTC, 2014).

Entre los tipos de pavimentos tenemos al pavimento rígido, flexible, semirrígido y pavimento articulado.

2.2.1.2 Pavimento flexible

Se trata de una capa asfáltica aplicada sobre un terreno irregular, capaz de adaptarse a ligeras deformaciones en las capas subyacentes sin comprometer su estructura. Debido a que la vida útil de los pavimentos flexibles oscila entre 10 y 15 años, su construcción resulta más económica en un principio, aunque requiere mantenimiento continuo a lo largo de su uso.

A diferencia de los pavimentos rígidos que emplean losas de concreto, los pavimentos flexibles utilizan capas de materiales elásticos y flexibles que pueden deformarse ligeramente bajo la presión del tráfico. Esta flexibilidad es crucial para absorber tensiones y preservar la integridad del pavimento. Los pavimentos flexibles son esenciales en la ejecución de carreteras, calles urbanas, zonas industriales y otros lugares donde se necesite resistencia y durabilidad frente a cargas pesadas y tráfico continuo. Su diseño y construcción requieren consideraciones específicas sobre la resistencia de los materiales, un sistema de drenaje apropiado y la implementación de métodos de diseño precisos para asegurar su durabilidad y seguridad en diversas condiciones climáticas y de tráfico (Daniel & Crispín, 2019, p. 38).

A. Estructura de un pavimento flexible

La disposición de este pavimento comprende inicialmente una capa superior, conocida como capa asfáltica, seguida en sucesión por la base y la subbase. Estas capas, en conjunto, se apoyan arriba de la subrasante o superficie natural, sobre la cual se distribuye una porción de la carga vehicular. En la estructura se encuentran las siguientes capas y elementos:

1. Capa de rodadura: Está conformada por combinaciones de mezclas asfálticas y materiales pétreos. Este estrato experimenta directamente las fuerzas provenientes del tráfico vehicular y se expone a la lluvia y la radiación solar. Resiste la abrasión generada por la circulación de vehículos y los cambios atmosféricos, cumpliendo la función adicional de resguardar la estructura y otorgar impermeabilidad a la superficie del pavimento, para garantizar comodidad, y rugosidad, para asegurar la seguridad durante la circulación (Garzon & Hernández, 2019).

2. Capa Base: Se trata de una capa granular situada debajo de la carpeta asfáltica. En esencia, este material mantiene esta resistencia frente a posibles variaciones en las condiciones ambientales. También se necesita tener lugares vacantes. Su función principal es servir como un elemento resistivo capaz de transmitir adecuadamente las fuerzas generadas por el tráfico a la subbase y subrasante. Una de las bandas granulométricas debe ser encontrada por los agregados destinados a la creación de esta base granular (Garzon & Hernández, 2019).



Figura 6. Capa base del pavimento flexible.

Fuente: *Extraída de Garzon y Hernández (2019).*

3. Capa Sub-base: Se trata de una estratificación granular compuesta por materiales más asequibles en comparación con las capas previas. Esta capa específica tiene como propósito facilitar el drenaje del agua, ya sea que se infiltre desde la superficie. En la construcción de esta base, es esencial que los agregados utilizados cumplan con los requerimientos de tamaño indicados en la directriz de esquema de pavimentos asfálticos para carreteras con tráfico ligero, tal como se detalla en las normas del INVIAS.

4. Suelo compactado: Capa de suelo que ha sido sometida a un proceso de compactación para aumentar su densidad y resistencia, con el objetivo de proporcionar una base sólida y estable para el pavimento flexible que se construirá sobre él.

5. Subrasante: Capa que sostiene la infraestructura del pavimento, conformada por el terreno natural, aunque en algunas situaciones es crucial optimizar las propiedades del suelo. La calidad de esta capa juega un papel crucial, ya que afectará significativamente el grosor total del pavimento.

6. Sub-drenaje longitudinal: Sistema de drenaje diseñado para recolectar y canalizar el agua de lluvia y el agua subterránea que se infiltra en el pavimento. Este sistema está ubicado a través de la línea central de la carretera o camino y consiste en una serie de tuberías perforadas o canales de drenaje conectados a sumideros o pozos de recolección.

7. Revestimiento de hombreras: Capa de material aplicada en los márgenes laterales de una carretera pavimentada, conocidos como hombreras o bermas. Este revestimiento se coloca adyacente al pavimento principal para proporcionar soporte estructural y mejorar la estabilidad del borde de la carretera.

8. Sub-base de hombreras: Capa de material granular que se coloca en los márgenes laterales de un pavimento adaptativo, justo debajo de la capa de base y encima de la subrasante. Su función es proporcionar soporte estructural adicional en los bordes del pavimento para repartir

las cargas de tráfico de manera uniforme y reducir la posibilidad de deformaciones y fallas en los márgenes.

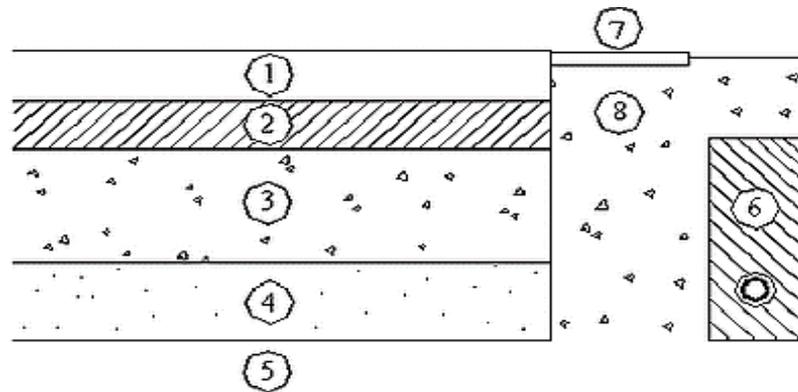


Figura 7. Estructura de un pavimento flexible.

Fuente: Tomada de Garzon y Hernández (2019).

2.2.2. Resistencia a la compresión del pavimento flexible

Capacidad de la estructura del pavimento, compuesta principalmente por mezclas asfálticas y capas granulares, para soportar las cargas aplicadas sin experimentar fallas o deformaciones excesivas. Esta propiedad refleja la habilidad del material para resistir esfuerzos compresivos, garantizando su desempeño funcional y prolongando su vida útil bajo el tránsito vehicular (Delgado, 2023).

2.2.2.1. Durabilidad

La resistencia de un camino está vinculada a consideraciones económicas y sociales. La durabilidad que se pretende para el camino varía según su relevancia, y en ciertas situaciones resulta más beneficioso optar por reconstrucciones para evitar costos significativos en la construcción inicial del pavimento (Gonzales & Manay, 2020).

2.2.2.2. Normativa

Existen directrices o estándares que se deben seguir para el diseño de pavimentos, como la norma CE 010 - Pavimentos Urbanos, que trata de definir los requisitos necesarios en el ámbito de la mecánica del suelo y la ingeniería del piso para el diseño, la construcción, la renovación, la destrucción y la reparación de pisos urbanos. Esto garantiza la longevidad y el mantenimiento adecuado de pavimentos, estacionamientos y pisos en zonas metropolitanas. Asimismo, la norma CE 020 - Estabilización de Suelos y Taludes establece los requisitos mínimos de ingeniería para mejorar la resistencia de las superficies y la estabilización de taludes por medio de cambios químicos, mecánicos o topográficos.

La normativa del Instituto de Construcción y Gerencia, publicada en 2012, es obligatoria en todo el país. Por otra parte, la metodología AASHTO 93 emplea un modelo matemático para adquirir el parámetro "número estructural", crucial para conocer la dimensión de las distintas capas del pavimento, según lo mencionado por Quispe en 2023. Asimismo, el Manual de Carreteras es una herramienta esencial para el diseño de pavimentos, ya que ofrece lineamientos técnicos, criterios de diseño y especificaciones para la construcción y mantenimiento de carreteras. Este documento proporciona normas y procedimientos para el diseño de pavimentos, incluyendo la elección de materiales, determinación de espesores y estructuras, consideración de aspectos de drenaje y establecimiento de parámetros de calidad.

2.2.3. Sub Rasante

Capa más superficial del suelo orgánico, donde la subrasante debe ser competente y tener un CBR superior al 6 % para que se considere adecuada. Una subrasante débil o no competente es aquella con un CBR de menos del 6 %; en este caso, el suelo debe ser estabilizado de acuerdo con las alternativas óptimas de estabilización del proyecto (AASHTO, 1993).

2.2.3.1 Tipos de fallas en vías con superficie de concreto asfáltico

- Piel de cocodrilo: Consiste en fisuras que tienen patrones irregulares que se encuentran típicamente en zonas de repetición de carga (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 1990).
- Baches: Esta forma de daño se caracteriza por la completa desintegración de la capa bituminosa, revelando los materiales granulares y las capas inferiores de los materiales y de la estructura vial. Es fácilmente reconocible e incluye a los ojos de pescado, que son cráteres esféricos (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 1990).
- Abultamientos y hundimientos: Entre las varias causas de hundimiento tenemos al asentamiento o consolidación de estratos comprensibles; malas prácticas constructivas; inestabilidad provocada por un incremento de la humedad en las capas de la superficie de la carretera o cimientos y falta de confinamiento lateral de los paseos (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 1990).
- Desnivel carril/ berma: Desnivel entre el pavimento de la calzada y el paseo, lo que supone un peligro para la circulación de vehículos (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 1990)

2.2.4. Diseño del pavimento flexible

2.2.4.1 Estudio de tráfico

Según la guía del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018) sobre terrenos viales, se señala que para obtener información sobre el Índice Medio Diario Anual (IMPD) es necesario realizar un estudio de tráfico. IMDA proporciona datos sobre la demanda volumétrica actual y la categorización de vehículos en la zona de estudio. Para calcular el IMDA se requiere la disponibilidad de un índice de variación mensual que generalmente es proporcionado por MTP. Este estudio incluye un muestreo con el propósito de determinar la necesidad de vehículos en cada sentido de circulación, y esta es la base para calcular el IMDA en el tramo analizado (Gonzales & Manay, 2020, p. 18).

A. Conteo Vehicular

El conteo vehicular se refiere al proceso de recopilar y registrar información sobre la magnitud de coches que circulan por un lugar específico en un horario establecido. Este conteo puede realizarse de diferentes formas, ya sea de forma manual o automática (Provías descentralizado, 2018).

Algunos métodos comunes de conteo vehicular incluyen:

- **Conteo manual:** Consiste en contar los vehículos de forma manual, ya sea mediante el uso de contadores manuales o registrando los vehículos en papel. Este método puede proporcionar datos más detallados, como la clasificación de los vehículos por tipo, el volumen de automóviles que giran en una dirección específica o el número de ocupantes en cada vehículo.
- **Conteo automático:** Se utilizan dispositivos electrónicos, como contadores y clasificadores de tráfico, para registrar automáticamente el paso de los vehículos. Estos dispositivos pueden utilizar tecnologías como sensores de presión en el pavimento, cámaras de vídeo o sistemas de detección por infrarrojos para contar y clasificar los vehículos.

El conteo vehicular es una herramienta del estudio del tráfico, ya que proporciona datos clave sobre el volumen de tráfico en una determinada área o carretera. Estos datos pueden ser utilizados para analizar patrones de tráfico, planificar optimizaciones en la infraestructura vial, evaluar la eficiencia del transporte y adoptar decisiones bien fundadas sobre la administración del tráfico (Provías descentralizado, 2018).

Los volúmenes de tránsito varían constantemente, por lo que los aforos realizados en un momento determinado solamente son precisos para ese momento. Sin embargo, las variaciones de los volúmenes de tránsito suelen seguir patrones rítmicos y repetitivos.

Este conocimiento es importante para planificar los aforos, relacionar volúmenes de diferentes momentos y lugares, y prevenir la actuación de las fuerzas de tránsito. Por lo tanto, es fundamental tener conocimiento de los cambios regulares en los volúmenes de tráfico a lo largo del día, de la semana y del año.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx=4.
	Tx-Sx=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx=4
	Cx-Rx=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Figura 8. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico de la Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos PMS.

Fuente: Tomada de la Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos (2017).

B. Clasificación de los vehículos

Según Valverde y Calisaya (2019), los vehículos se clasifican en función del número y tipo de ejes, así como del peso máximo permitido, según el Reglamento Nacional de Vehículos. Un vehículo solo puede pesar un máximo de 48 toneladas en total. Además, se establecen las siguientes restricciones de peso máximo para cada eje:

- Eje simple: 7 tn para ruedas individuales y 11 tn para ruedas dobles.
- Eje tándem: 12, 16 y 18 tn.
- Eje tridem: 16, 23 y 25 tn.

Para identificar el tipo de vehículo que operará en un determinado lugar, esta categorización es crucial, ya que cada vehículo consta de ejes de un determinado tipo y se debe tener en cuenta su número. Además, es crucial conocer el peso que cada eje cargará, ya que esto tendrá un impacto destructivo en la vía, dependiendo del tipo de pavimento que se utilizará.

B. Pesos y medidas máximos permitidos

Se fundamenta considerando la disposición de vehículos. Se basa en el número y el tipo de eje que se genera combinando un vehículo tractor y un semirremolque (Yayico, 2019, p. 16).

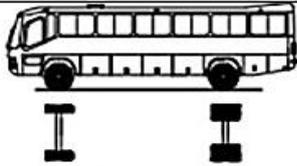
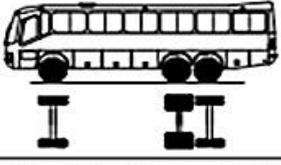
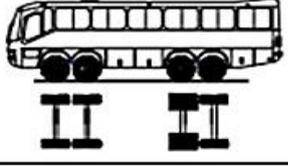
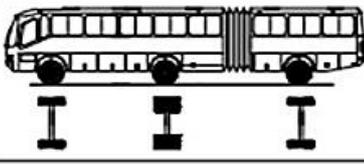
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
B2		13,20	7	11	---	---	---	18
B3-1		14,00	7	16	---	---	---	23
B4-1		15,00	7+7 ²⁵	16	---	---	---	30
B4-1		18,30	7	11	7	---	---	25

Figura 9. Tabla de pesos y medidas de buses

Fuente: Extraído del Reglamento Nacional de Vehículos (MTC, 2018).

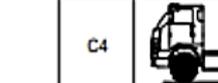
TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
				Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	
C3		13,20	7	18	---	---	---	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30	
8x4		13,20	7+7 ⁽²⁾	18	---	---	---	32	

Figura 10. Tabla de pesos y medidas de camiones.

Fuente: Extraído del Reglamento Nacional de Vehículos (MTC, 2018).

C. Período de diseño

El pavimento se planifica considerando la carga acumulativa ejercida por el tráfico durante un período de tiempo específico. Se establece un período de diseño que representa la duración en años para la cual se realiza el diseño del pavimento (Gonzales & Manay, 2020).

Comúnmente, el lapso de diseño excede la vida útil del pavimento, abarcando al menos una renovación o ampliación, lo que lo sitúa por encima de los 20 años. La AASHTO proporciona recomendaciones sobre los periodos de diseño.

Tabla 2. Periodo de diseño según el tipo de carretera.

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

Fuente: Tomado de Cossi (2019, p. 5).

D. Carril del diseño

El flujo vehicular es el número de automóviles que transitan en una o dos direcciones. Por lo general, el tráfico en ambas direcciones es similar, pero en algunos casos es posible que encontremos una mayor densidad de tráfico en un sentido en comparación con el otro (MTC, 2014).

Tabla 3. Carril de diseño.

N.º de carriles (2 Direcciones)	% de camiones en el carril de Diseño
2	50
4	45 (35-48)
6 ó más	40 (25-48)

Fuente: *Extraída de Gonzales y Manay (2020, p. 25).*

2.2.5. Estabilización de suelos

Hace 5000 años, la adición de agentes en la estabilización de suelos se desarrollaba con cal o punzones, pero su cenit ocurrió después de la Segunda Guerra Mundial, cuando había una enorme demanda de carreteras en lugares con suelo de mala calidad (Solminihac, 1990).

En su Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, el MTC (2014) caracteriza el reforzamiento del terreno “como la introducción de productos químicos naturales o artificiales (estabilizadores) y la optimización mecánica de las características físicas del suelo” (p.27).

2.2.6. Diseño de la estructura del pavimento flexible (Método AASTHO 93)

Basado en un número abstracto, este método conecta la funcionalidad y las condiciones ambientales, el índice de soporte MR, los parámetros de tránsito y la resistencia estructural de las capas de asfalto al suelo.

- **Tránsito**

Se basa en el concepto de ejes equivalentes, que son una unidad de medida que permite comparar el daño causado por vehículos de distintos pesos y dimensiones. Se emplearon ejes de carga equivalentes de 8.2 toneladas, que son el tipo de vehículo más común en las vías colombianas. El número de ejes equivalentes que viajan sobre la pista durante un tiempo determinado se estimó utilizando el enfoque de cuarta potencia ampliamente reconocido (Camacho, 2015).

Se empleó la ecuación 1 para calcular el tráfico.

$$N = (Nd \times 365 \times Fd \times Fc) \times \left(\frac{(1+r)^n - 1}{r}\right) \quad (1)$$

Donde:

N: Tránsito en ejes \approx 8.2 tn

Nd: Tránsito \approx acumulado.

Fd: Factor sentido.

Fc: factor carril

n: período de diseño en años

- **Desviación estándar normal**

Hace referencia al nivel de confiabilidad elegido en una serie de datos con distribución normal.

Tabla 4. *Coefficiente estadístico del Zr.*

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z _R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T _{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T _{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T _{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T _{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10,000,000	-1.282
	T _{P10}	10,000,001	12,500,000	-1.282
	T _{P11}	12,500,001	15,000,000	-1.282
	T _{P12}	15,000,001	20,000,000	-1.645
	T _{P13}	20,000,001	25,000,000	-1.645
	T _{P14}	25,000,001	30,000,000	-1.645
	T _{P15}		>30,000,000	-1.645

Fuente: *Extraída de Baloa et al. (2019).*

- **Desviación estándar combinada**

Está conformada por el error relacionado con la estimación del tráfico y el error vinculado a la predicción del rendimiento del pavimento. Se determina mediante la ecuación 2.

$$S_o^2 = S_wT^2 + S_wt^2 \quad (2)$$

Donde:

S_o: Desviación estándar total

S_{wT}: Desviación en relación con el tráfico

S_{wt}: Desviación en relación con el desempeño del pavimento

- **Módulo Resiliente de Subrasante**

Propiedad de los materiales que se determina a partir de otros ensayos. Para calcularlo, se utiliza el valor del CBR de laboratorio, que se obtiene mediante la Ecuación 3 (Gonzales & Manay, 2020).

$$Mr(Psi) = 1500 CBR \quad (3)$$

- **Coefficientes estructurales de Capa**

Para saber qué tan resistente es una mezcla asfáltica, se mide su elasticidad. Esta elasticidad se puede estimar a partir de una gráfica. En el caso de este párrafo, la elasticidad estimada es de 380.000 PSI. Al ingresar este valor a la gráfica, se obtiene que esta mezcla asfáltica contribuye con un 42 % a la resistencia estructural del pavimento (Camacho, 2015).

- **Coefficiente de Drenaje**

Para evitar que un pavimento falle prematuramente por hundimientos causados por el ablandamiento de los materiales por humedad, se debe determinar el tiempo en que las capas están expuestas a la humedad antes de saturarse. Además, según la clasificación del suelo, se debe tener en cuenta el fenómeno de expansión y asegurar que los materiales granulares no tengan propiedades expansivas (Delgado, 2023).

Tabla 5. *Coefficientes de drenajes.*

Clasificación climática por humedad	m_i
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

Fuente: *Extraída de Delgado (2023)*

- **Serviciabilidad**

Es la comodidad de su uso. Se mide con un número del 0 al 5. Un pavimento tiene un valor de serviciabilidad final, que varía según el tránsito, y un nivel inicial de desempeño, el cual está condicionado por el diseño. Con la ecuación 4, se calcula el índice de servicio (Gonzales & Manay, 2020).

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (4)$$

- **Confiabilidad**

Según los criterios definidos por la AASHTO, se basa con el nivel de confiabilidad, el cual tiene un valor asignado a este parámetro y se determina sobre la base de la relevancia de la carretera.

Tabla 6. Niveles de confiabilidad sugeridos.

Clasificación	Nivel de Confiabilidad	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias colectoras	80 - 99	75 - 95
Colectoras de tránsitos	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: *Extraída de Camacho (2015).*

2.2.7. Agregados

Los materiales rocosos que suelen encontrarse de manera natural o artificial se denominan agregados. Estos áridos son materiales inertes con propiedades granulares.

Según las investigaciones, el propósito de los áridos gruesos es impartir estructura al concreto debido a su bajo coste y mayor asequibilidad que el cemento. Algunos estudios han concluido que los áridos confieren al concreto final su tamaño, firmeza y durabilidad (Martínez, 2020).

- **Agregado fino**

También se conoce como arena porque pasa por el tamiz N.º 4, que equivale a 4,75 milímetros, sin ser retenida. Asimismo, se señala que las propiedades se “basan principalmente en sus cualidades inherentes y pueden determinarse mediante experimentos de laboratorio. Este conocimiento es fundamental para realizar una selección informada del material, considerando

la aplicación prevista, las condiciones climáticas, las consideraciones económicas y el tipo de trabajo” (NTP 400.011, 2008, p.7).

Según la Norma Técnica CE.010 Pavimentos urbanos, menciona gradaciones de los áridos que los divide según se menciona en la Tabla 7. Además, indica que las mezclas en frío deben cumplir con que $\pm 5\%$ de materiales deben pasar por los tamices N.º 4,8 y 20, un $\pm 2\%$ en cantidad de solventes y un $\pm 0.3\%$ de asfalto.

Tabla 7. Niveles de confiabilidad sugeridos.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80 - 100	100	-
12,5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	-
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (Nº 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (Nº 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 μm (Nº 40)	14 - 25	17- 28	16 - 29
180 μm (Nº 80)	08 - 17	08 - 17	09 - 19
75 μm (Nº 200)	04 - 08	04 - 08	05 - 10

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos urbanos (2010).

La curva granulométrica es crucial en el diseño de mezclas frías, especialmente para el agregado fino, por varias razones. Primero, la repartición de las dimensiones de las partículas en el árido fino, lo que afecta directamente la trabajabilidad y la compactibilidad de la mezcla. Una curva granulométrica bien diseñada asegura una distribución equilibrada de los tamaños de las partículas, favoreciendo la cohesión y el fortalecimiento de la mezcla. Asimismo, posibilita la regulación de la proporción de agregado fino en función de las características deseadas para la mezcla en frío, tales como la densidad, la resistencia mecánica y la flexibilidad.

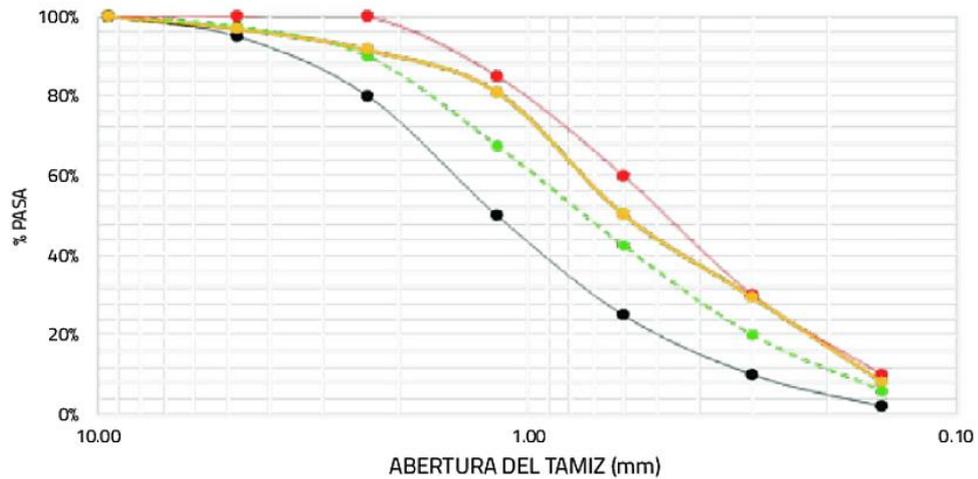


Figura 11. Curva granulométrica del agregado fino.

Fuente: *Extraída de Camargo y Hernando (2017).*

- **Agregado grueso**

El árido grueso, también conocido como agregado grueso, se caracteriza por la retención de la mayoría de sus partículas a través de un tamiz N.º 4 (4,75 mm). Determinar el tamaño óptimo del árido grueso es crítico en el proceso de diseño del concreto de alta resistencia, ya que el área de transición interracial entre la lechada y el árido puede constituir una zona potencial de fallo para el concreto. Para el concreto, los tamaños máximos nominales de los áridos inferiores a un cuarto de pulgada aumentan su resistencia potencial (Mancheno & Salazar, 2021).

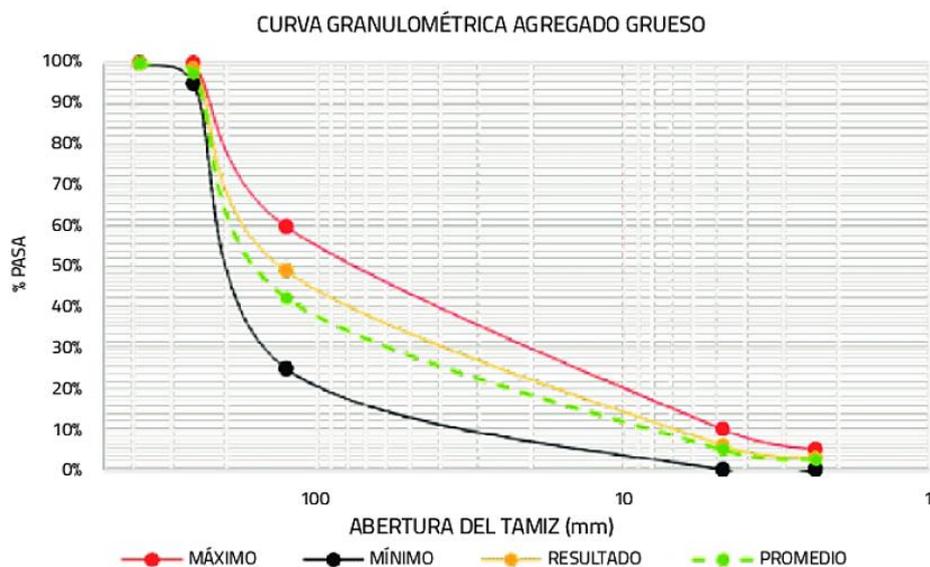


Figura 12. Curva granulométrica del agregado grueso.

Fuente: *Extraída de Camargo y Hernando (2017).*

2.2.8. Aditivos

Según Mancheno y Salazar (2021), los aditivos, a diferencia de los áridos o el cemento portland, no son componentes indispensables del concreto. Sin embargo, cuando se utilizan en cantidades mínimas (menos del 5 % de la masa del cemento), permitiendo su modificación en las propiedades del concreto durante y después de la mezcla. Estas se modifican en función de las especificaciones del constructor y de las características del concreto que debe colocarse en obra; por tanto, el tipo de aditivo utilizado también determina estas propiedades utilizando la norma ASTM-C494.

2.2.9 Aceite residual

2.2.9.1 *Reseña histórica de la aplicación de aceite residual*

Según Gavino (2022), últimamente se ha producido el aumento del parque automotor, provocando un incremento en la generación de lubricantes residuales, que representan más de la mitad de los aceites lubricantes consumidos. Estos desechos se eliminan sin control, lo que puede causar daños ambientales. Suecia y Noruega han implementado sistemas de recogida de estos residuos y están buscando nuevas formas de aprovecharlos, como el reciclaje de aceite usado. Además, varios autores están realizando investigaciones experimentales para evaluar la reacción del suelo frente a la presencia de residuos de aceite de vehículos automotores con el fin de demostrar la viabilidad de utilizar el aceite quemado producido por las flotas automotrices para brindar una alternativa al reciclaje de residuos automotrices.

2.2.9.2 *Características físicas y químicas del aceite residual automotriz*

Los aceites lubricantes son un tipo de aceite que se utiliza para reducir la fricción entre las superficies en movimiento. Se producen mediante la destilación al vacío del petróleo crudo, y pueden contener componentes aromáticos volátiles y otros componentes obtenidos mediante extracción con solventes. (Núñez, 2001, como se citó en Del Castillo & Orobio, 2020).

Tabla 8. *Características de los aceites usados.*

Características	Automotor	Industrial
Viscosidad a 40 °C, SSU	97 - 120	143 - 330
Gravedad 15.6 °C, °API	19 - 22	25.7 - 26.2
Peso Especifico a 15.6 °C	0.9396 - 0.8692	0.9002 - 0.8972
Agua, % Vol.	0.2 - 33.8	0.1 - 4.6
Sedimentos, % Vol.	0.1 - 4.2	0.0
Insolubles en Benceno, % peso	0.56 - 33.3	0.0
Solubles en gasolina, % vol.	2.0 - 9.7	0.0
Punto de ignición, °C	78 - 220	157 - 179
Poder Calorífico, MJ/kg	31.560 - 44.880	40.120 - 41.840

Fuente: *Tomado de Castillo & Orobio (2020).*

2.2.10. Diseño de mezclas asfálticas (Ensayo Marshall)

Tiene como objetivo, encontrar la combinación adecuada de agregados en el asfalto. Además, este método proporciona información sobre las propiedades de la mezcla (Gavino, 2022, p. 32).

Objetivos del Ensayo Marshall

- **Calcular el Contenido Óptimo de Agregados:** Se busca determinar la mejor combinación de materiales granulares y ligante asfáltico para lograr una cohesión y durabilidad óptimas en la mezcla. Una proporción adecuada de asfalto asegura que la mezcla cuente con suficiente material adhesivo para mantener la estructura del pavimento unida y prevenir daños prematuros
- **Evaluar Propiedades de la Mezcla:** El ensayo permite obtener información sobre diversas características de la mezcla asfáltica, tales como:
- **Estabilidad:** Capacidad de la mezcla para resistir deformaciones bajo carga.
- **Fluidez:** Grado en que la mezcla se deforma bajo presión.
- **Porosidad:** Indica la cantidad de espacio vacío en la mezcla, lo que afecta la durabilidad y la resistencia a la humedad.

Proceso del Ensayo Marshall

El proceso implica varios pasos:

- **Preparación de Muestras:** Se preparan cilindros de mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de asfalto.
- **Pruebas de Compresión:** Los cilindros son sometidos a pruebas de carga para determinar su estabilidad y fluidez.
- **Cálculos:** Se analizan los resultados para identificar el contenido de asfalto que ofrece la mejor combinación de propiedades.

Relevancia

La información obtenida del ensayo es crucial para el diseño y la ejecución de pavimentos. Ayuda a los ingenieros a seleccionar la mezcla adecuada para diferentes condiciones de tráfico y climáticas, contribuyendo a la sostenibilidad y a la reducción de costos de mantenimiento a largo plazo.

2.2.10.1. Evaluación de ensayos de laboratorio

A. Determinación de la gravedad

En el ensayo Marshall, la gravedad específica se considera una característica importante. Esta característica se puede determinar después de que la muestra se haya enfriado a temperatura ambiente. Este proceso se llevará a cabo siguiendo los procedimientos definidos en las normativas ASTM D1188 que utiliza parafina o ASTM D 2726. La norma a utilizar se selecciona en función del agua absorbida por la mezcla. Si absorbe menos del 2 % de agua, se utiliza la norma ASTM D 2726 (Gavino, 2022, p. 33).

B. Prueba de flujo y estabilidad

Una vez que se conoce la gravedad específica de la mezcla asfáltica, se procede a evaluar su estabilidad y flujo. Para ello, se sumerge la muestra en un baño de agua caliente a 60 ° centígrados durante 30' a 40'. Luego, se seca la superficie de la muestra y se coloca en un dispositivo de prueba. Se aplica una carga al espécimen hasta que se rompa. La cantidad de carga necesaria para romper la muestra se denomina número de equilibrio Marshall (Gavino, 2022, p. 33).

C. Análisis de densidad y vacíos

Luego de haber realizado los experimentos de fluencia y equilibrio, se prosigue a examinar la densidad y los vacíos de las probetas de prueba. Para ello, es necesario encontrar la gravedad específica teórica más alta de al menos dos tipos diferentes de asfalto, preferiblemente cercanos al contenido ideal de asfalto. A partir de estas variables se calcula el peso específico medio efectivo del árido. La trascendencia de la densidad relativa de las mezclas compactadas puede calcularse utilizando esta información (Gavino, 2022, p. 35).

2.3. Definición de términos básicos

- **Pavimento flexible:** Capa asfáltica producida a partir de una mezcla bituminosa calentada que se aplica sobre una base y una subbase (UNIFORT, 2021) .
- **Aceite Residual Automotriz:** “El aceite residual es un aceite de origen mineral que, al ser utilizado, ha perdido sus propiedades originales. Por lo tanto, ya no es apto para su uso original” (Gavino, 2022, p. 46).
- **Durabilidad del pavimento flexible:** La vida útil efectiva de un pavimento flexible, el cual es mayor de ocho años, siendo la media de veinte años (UNIFORT, 2021).
- **Ensayo Marshall:** Su aplicación influye en la cantidad de betún utilizado, que debe tener suficiente estabilidad y deformación para el terreno. De lo contrario, la eficacia y el flujo de tráfico se verían disminuidos (EMESA, 2022).
- **AASHTO 93:** Método de calcular la resistencia que debe tener un pavimento flexible para soportar el tráfico esperado. El método considera el tráfico, la confiabilidad de los datos, la resistencia del suelo de soporte y otros factores (EMESA, 2022).
- **CBR:** “El enfoque de evaluación CBR se usa para apreciar la capacidad de peso de los materiales que forman la base de un pavimento, incluyendo materiales reciclados” (MTC, 2016, p. 15).
- **Subrasante:** “Exterior de la carretera que se encuentra al ras final del desplazamiento de campo, ya sea por cortes o rellenos. Sobre ella se coloca la estructura del pavimento” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018, p. 20).
- **Clima:** Es el conjunto de características climáticas predominantes en una región a lo largo del tiempo, abarcando factores como temperatura, humedad, precipitaciones y viento (Gavino, 2022, p. 33).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo es un tipo de estudio en el que la comprensión de acontecimientos, relaciones o comportamientos se alcanza a través la obtención y examen de datos numéricos (Hernández Sampieri, 2018).

Por ello se usará este tipo de enfoque, ya que se usará técnicas estadísticas y matemáticas para medir las variables e identificar correlaciones. Se caracteriza por su enfoque objetivo y la capacidad de proporcionar resultados numéricos y cuantificables, lo que permite realizar inferencias y validar hipótesis de manera sistemática y rigurosa.

3.1.2. Tipo de investigación

Esta indagación es aplicada, porque intenta optimizar la resistencia a la compresión del pavimento ubicado en carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, por medio de la incorporación de porcentajes del aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica. Para ello se aplicarán los conocimientos y/o experiencias previas adquiridas en diferentes zonas del país y localidades extranjeras (Hernández Sampieri, 2018). Además, se usarán los diferentes manuales del MTC, el AASHTO, entre otras normativas.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de estudio explicativo formula suposiciones teóricas que pueden ser comprobadas de manera directa o indirecta, las cuales son fundamentales en el marco teórico antes de llevar a cabo las mediciones (Hernández Sampieri, 2018). Por ello la investigación es explicativa y se centra en detallar todo el estudio obtenido de las variables.

3.1.4. Diseño de investigación

Esta exploración se clasifica como experimental, ya que busca validar un nuevo conocimiento o contribución mediante la manipulación de sus variables. Por consiguiente, se etiqueta como experimental porque permite la manipulación de las variables independientes para obtener resultados a través de pruebas o ensayos (Hernández Sampieri, 2018).

3.1.5. Alcance de la investigación

Esta evaluación es de alcance explicativo, ya que su propósito es identificar las razones detrás de los eventos investigados, ya que comprender en detalle los componentes involucrados es fundamental para explicar un hecho o fenómeno obtenido (Hernández Sampieri, 2018).

La investigación implica investigar y aplicar el uso de aceite residual automotriz como aditivo para fortalecer y optimizar la resistencia a la compresión del pavimento en la carretera que enlaza San Antonio de Putina con Quilcapuncu. El proyecto abarcará el análisis de viabilidad técnica-económica, la evaluación de los efectos sobre la resistencia a la compresión del pavimento, así como la identificación de posibles beneficios ambientales derivados de esta iniciativa en el contexto vial específico mencionado.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Población y muestra

- Población

Se utilizará un grupo de briquetas de asfalto elaboradas de acuerdo con los estándares especificados en el procedimiento Marshall, utilizado para la preparación de mezclas asfálticas en frío.

- Muestra

Conformada por un conjunto de 48 briquetas de asfalto, donde 16 corresponden a la muestra estándar y 32 incluyen la incorporación de aceite reciclado de motor en porcentajes del 1 %, 2 % y 3 % en relación al peso del asfalto, las cuales fueron obtenidas en base a nuestros antecedentes. Estas fueron sometidas a evaluación a temperaturas de 45°C, 60°C y 75°C.

Tabla 9. *Número de briquetas de asfalto a desarrollar*

Muestras para ensayos				
Dosificación (% de adición)	Tipo de tránsito	Temperaturas (°C)		
	Mediano	45°C	60°C	75°C
0%	4			
1%	4	16	16	16
2%	4			
3%	4			
TOTAL		48		

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 10. Obtención de porcentajes a utilizar

Título del Archivo	Autor(es)	País	Dosificaciones Usadas
Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite de motor usado en un suelo fino de subrasante	Del Castillo y Orobio (2020)	Colombia	1%, 2% y 3%
Comportamiento de mezclas asfálticas con pavimento reciclado y aceite utilizado de motor como rejuvenecedor	González (2019)	Colombia	2%, 4%, 6%
Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitosos	Alarcón, Jiménez y Benítez (2020)	Colombia	1%,3%,5%
Automotive waste oil as an additive in concrete mixtures: its use is feasible	Balao et al.(2019)	Brasil	1%, 2%
Uso del aceite usado de vehiculos para mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica	Laupa (2021)	Perú	1%, 3% y 5%
La adición del aceite residual automotriz mejora la estabilización de subrasante de la carretera afirmada Dv. Chirinos – Chirinos, Cajamarca, 2021	Villanueva Santos (2022)	Perú	2%, 4% y 6%
Análisis de nuevas mezclas asfálticas en caliente utilizando material asfáltico reciclado de la Av. Andrés Avelino Cáceres - Provincia de Concepción 2020	Santa Cruz (2021)	Perú	2%, 4% y 6%
Mejoramamiento de la subrasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021	Jalanoca (2021)	Perú	1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%

Fuente: *Elaboración propia.*

En la tabla 10, se presenta un análisis de diversas investigaciones relacionadas con la incorporación de aceites residuales u otros aditivos en materiales de la construcción

Para la determinación de las dosificaciones de 1 %, 2 % y 3 % de la mezcla asfáltica en frío en el diseño del pavimento flexible, se estableció un criterio técnico basado en un análisis estadístico de la resistencia a la compresión (R.C), en función del porcentaje incorporado en la mezcla asfalto (Anexo 3). Como se observa en la Figura 13, se realizó un ajuste cuadrático a los datos obtenidos experimentalmente, resultando en la ecuación:

$$Y = 9.46 - 0.81X + 0.12X^2$$

Donde “Y” representa el aumento en la resistencia a la compresión y “X” es el porcentaje de mezcla asfáltica en frío utilizada.

El análisis muestra que el incremento en la resistencia a la compresión no es lineal, sino que sigue una tendencia cuadrática. Se evidencia que el punto de mayor incremento en la resistencia se encuentra alrededor del 3 %, lo que sugiere que esta dosificación es la óptima dentro del rango analizado. Sin embargo, bajo un criterio técnico, se seleccionaron tres niveles de dosificación para evaluar de manera integral la influencia del material en el asfalto y garantizar un estudio comparativo robusto:

- **1%:** Representa un contenido mínimo de mezcla asfáltica en frío, permitiendo evaluar si en pequeñas adiciones generan cambios significativos en la resistencia a la compresión.
- **2%:** Proporciona un punto intermedio que permite observar la tendencia de la variación en la resistencia mecánica.
- **3%:** Es el punto en el que se observa el mayor aumento en la resistencia, lo que respalda su selección como el límite superior en la evaluación.

Además, la selección de estas tres dosificaciones responde a un criterio técnico que considera la necesidad de establecer un rango de análisis práctico, permitiendo determinar la viabilidad de incorporar en las mezclas asfálticas en frío sin comprometer la trabajabilidad y cohesión del asfalto. Se evitó el uso de valores superiores al 3 % debido a que podrían afectar negativamente otras propiedades de la mezcla asfáltica, como la adherencia y la durabilidad.

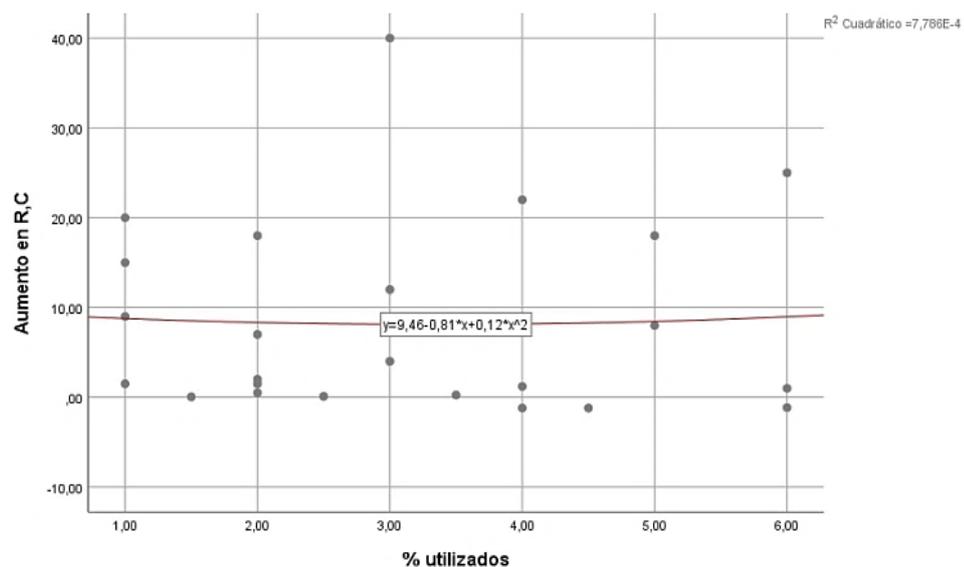


Figura 13. Flujo de procesos de la tesis de investigación.

Fuente: *Elaboración propia.*

3.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

3.2.2.1. Técnicas de recolección de datos

En este estudio, se utilizó la observación directa para recopilar datos. Este método consiste en observar atentamente los fenómenos que se producen en la realidad, utilizando un marco teórico y objetivos definidos que se relacionan con la hipótesis que se está investigando (Gavino, 2022).

Ensayos a desarrollar:

- Ensayo de viscosidad
- Ensayo de Estabilidad Marshall
- Ensayo de Flujo Marshall
- Ensayo de Tracción Indirecta (IDT)
- Ensayo de Compresión

3.2.2.2. Instrumentos de recolección de datos

Los hechos de la investigación se recogieron mediante una ficha de observación. En esta ficha se registraron los resultados obtenidos en los ensayos con las mezclas asfálticas en frío. Los datos se organizaron según los indicadores de resistencia mecánica que se querían analizar (Yayico, 2019).

3.2.2.3. Validez

Este estudio se desarrolló en un laboratorio externo. Se utilizaron tarjetas de observación para recabar datos, los cuales fueron posteriormente procesados y analizados utilizando hojas de cálculo en Excel. El propósito principal era determinar el diseño más adecuado para pavimentos.

La información recolectada a través de estas fichas fue sometida a análisis mediante programas informáticos como Microsoft Excel y SPSS, estas herramientas de procesamiento estadístico descriptivo e inferencial nos ayudarán a determinar la validez y confiabilidad de nuestros resultados.

- **Guía de análisis documental**

Tabla 11. Descripción de normas a utilizar de los agregados

NORMATIVA EMPLEADA	
AGREGADOS	
Granulometría	NTP 400.012:2013
Partículas Chatas y Alargadas	NTP 400.021:2013
Gravedad Específica Absorción	NTP 400.021:2013
Partículas Fracturadas	NTP 400.015:2013
Equivalencia de arena	NTP 400.035:2013
Desgaste de Abrasión	NTP 400.037:2013

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 12. Normativa a usar en las mezclas asfálticas

NORMATIVA EMPLEADA	
MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS	
Ensayo de gravedad específica	ASTM D2726 M-13
Ensayo de estabilidad y flujo Marshall	ASTM D979-01
Ensayo a la resistencia a la compresión	INTE 04.01.06.05
Porcentaje de vacíos	ASTM C29/C29M
Densidad seca	ASTM D698
Ensayo de tracción	ASTM C496/C496M

Fuente: *Elaboración propia.*

3.2.2.4. Confiabilidad

Los resultados adquiridos tienen una alta fiabilidad, ya que serán sometidos a validación y aprobación por parte del técnico responsable de los ensayos a realizar, así como del personal especializado correspondiente.

3.2.3. Procedimiento de análisis de datos

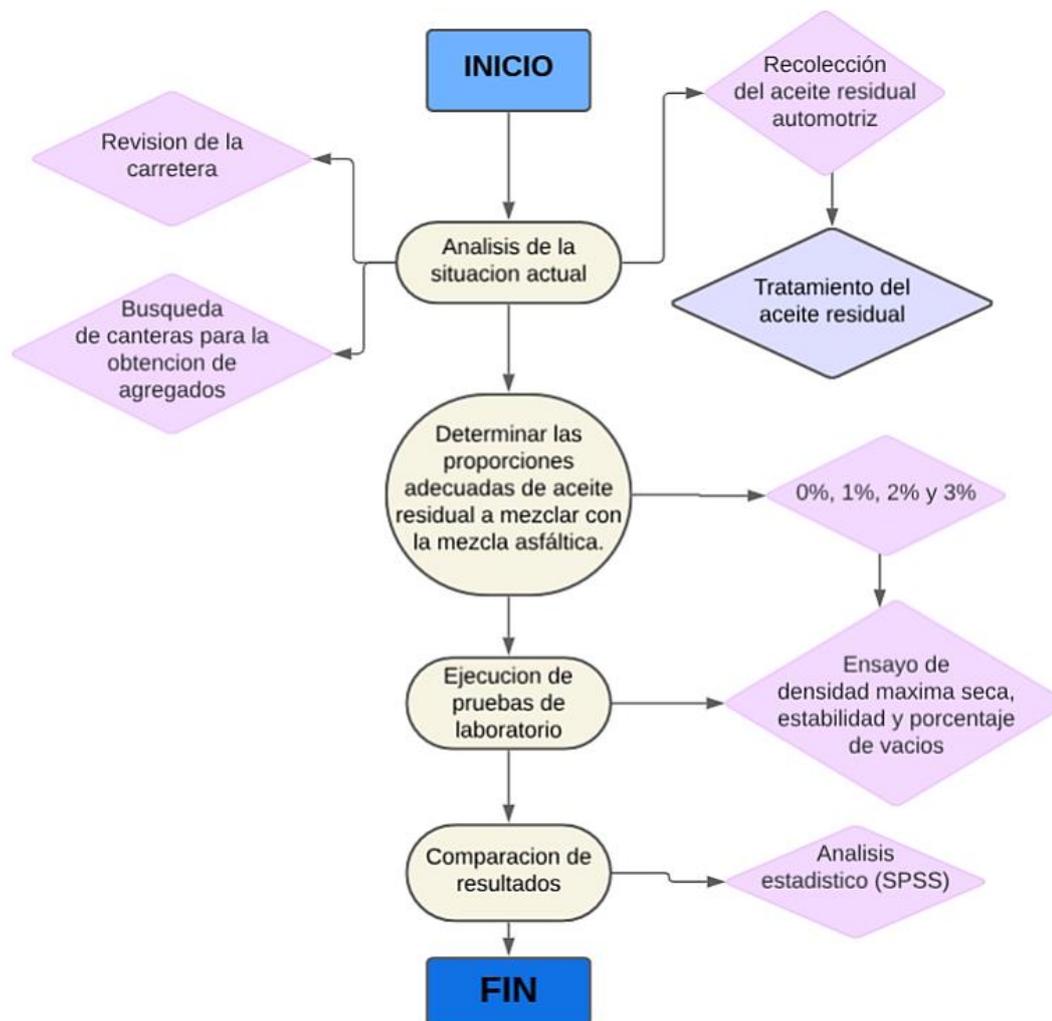


Figura 14. Flujo de procesos de la tesis de investigación.

Fuente: *Elaboración propia.*

3.2.4. Criterios éticos

En la investigación se están implementando procedimientos que cumplen con los principios éticos establecidos, así como con los lineamientos de la normativa de la carrera. Estos procedimientos garantizan la confiabilidad de la información, registros y datos que se incluirán en la investigación. La prioridad es evitar transgresiones éticas, la manipulación de datos y la omisión de referencias bibliográficas. Por ello, se consideran todos los aspectos de la investigación, desde la presentación del proyecto. Como resultado, se han presentado las pruebas correspondientes para verificar el contenido de la tesis.

3.3. Desarrollo de Resultados

3.3.1. Situación Actual del Pavimento Flexible

La carretera que conecta San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu en el departamento de Puno enfrenta un deterioro extremo en el pavimento flexible, afectando gravemente la seguridad de los usuarios.

Además, existe un grave problema ambiental relacionado con el manejo del aceite residual automotriz. Actualmente, existen cantidades significativas de este residuo con escasas opciones de reciclaje adecuado y un mal control de su disposición final. Generalmente son vertidos en suelos y cuerpos de agua locales. El incremento del tráfico vehicular en la zona ha intensificado estos problemas, permitiendo el acceso al aceite de motor usado, pero también incrementando los desafíos para su gestión y control.

Ante esta situación, se propone mejorar la resistencia a la compresión de las mezclas asfálticas utilizadas en los pavimentos flexibles mediante la incorporación del aceite residual automotriz. Esta solución no solo busca fortalecer la infraestructura vial, sino también mitigar el impacto ambiental negativo al promover prácticas de construcción más sostenibles. En la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno, se presenta el siguiente diseño:

En base a ESAL, el pavimento presenta una capa de sub-base de 45 cm, un espesor de base de 35 cm y una capa de carpeta asfáltica de 5 cm, este diseño cumple con lo requerido. Asimismo, se evidencian 3 mantenimientos realizados al pavimento, los cuales se presentan en los anexos.

Tabla 13. *Coficiente estructural por capas*

ESPESOR POR CAPAS		d(i)	
Capa superficial		d1 (cm)	5.000
Base		d2 (cm)	35.000
Subbase		d3(cm)	45.000
COEFICIENTE DE DRENAJE POR CAPAS		m(i)	
Base		m2	1.000
Subbase		m3	1.000

Fuente: *Elaboración propia.*

3.3.2. Ubicación de cantera

La cuenca del río Cabanillas, se ubica al sur del Perú, en el distrito Cabanillas, provincia San Román, del departamento de Puno y tiene una extensión de aproximadamente 2,845 km², sus altitudes varían entre de 3,950 y 4,750 msnm.



Figura 15. Ubicación de cantera.

Fuente: Tomado de Google Earth.

3.3.2. Estudio de tráfico

Se implementaron dos metodologías convencionales para simular los volúmenes de tránsito en la vía investigada:

1. Utilización de datos históricos de los Índices Promedio Diario Anual (IMDA) de tráfico actual.
2. Utilización de indicadores macroeconómicos, incluidas tasas de crecimiento y otros parámetros pertinentes.

El segundo procedimiento se tomó en cuenta el desarrollo del Producto Interno Bruto (PIB) y la población en la región de Puno para determinar las tasas de crecimiento del tráfico. Las variables macroeconómicas que se emplearon para determinar la tasa de crecimiento normal del tráfico se enumeran a continuación.

Tabla 14. *Tasas de crecimiento de los vehículos ligeros y pesados*

Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Ligeros		Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Pesados	
Amazonas.	1.12%	Amazonas.	2.69%
Ancash.	2.33%	Ancash.	1.49%
Apurímac.	1.13%	Apurímac.	4.50%
Arequipa.	2.90%	Arequipa.	2.97%
Ayacucho.	1.83%	Ayacucho.	2.90%
Cajamarca.	3.05%	Cajamarca.	1.45%
Cusco.	2.77%	Cusco.	3.07%
Huancavelica.	1.17%	Huancavelica.	2.00%
Huánuco.	1.94%	Huánuco.	3.03%
Ica.	1.10%	Ica.	2.62%
Junín.	2.04%	Junín.	2.84%
La Libertad.	2.61%	La Libertad.	2.21%
Lambayeque.	2.40%	Lambayeque.	2.54%
Lima Provincias.	2.61%	Lima Provincias.	2.34%
Loreto.	0.12%	Loreto.	1.48%
Madre de Dios.	2.22%	Madre de Dios.	1.38%
Moquegua.	1.97%	Moquegua.	0.58%
Pasco.	1.72%	Pasco.	0.39%
Piura.	2.38%	Piura.	2.37%
Puno.	2.47%	Puno.	2.58%
San Martín.	2.11%	San Martín.	2.88%
Tacna.	2.13%	Tacna.	2.36%
Tumbes.	0.81%	Tumbes.	2.40%
Ucayali.	1.73%	Ucayali.	2.25%

Fuente: *Tomada del Ministerio de transportes y comunicaciones (2023).*

Tasa de Crecimiento (r) para vehiculos ligeros y pesados	r (%)	2.47%							2.58%						
Periodo de Diseño (n):	n(Años)	2													
IMDa (2025)	Tn	93.2477	174.1990	349.4227	3.0741	138.3345	390.4107	12.2964	2.0516	89.2446	22.5676	4.1032	6.1548	1.0258	
	Tn(Redondeado)	94	175	350	4	139	391	13	3	90	23	5	7	2	

Tasa de Crecimiento (r) para vehiculos ligeros y pesados	r (%)	2.47%							2.58%						
Periodo de Diseño (n):	n(Años)	20													
IMDa (2049)	Tn	149.4396	278.2121	556.4242	6.3591	220.9799	621.6054	20.6672	4.8676	146.0272	37.3181	8.1126	11.3577	3.2450	
	Tn(Redondeado)	150	279	557	7	221	622	21	5	147	38	9	12	4	
Tránsito atraído	15%IMDA(2023)	13.65	25.5	51.15	0.45	20.25	57.15	1.8	0.3	13.05	3.3	0.6	0.9	0.15	
Tránsito generado	8%IMDA (2023)	7.28	13.6	27.28	0.24	10.8	30.48	0.96	0.16	6.96	1.76	0.32	0.48	0.08	
Tránsito desarrollado	10%IMDA(2023)	9.1	17	34.1	0.3	13.5	38.1	1.2	0.2	8.7	2.2	0.4	0.6	0.1	
IMDAo	(IMDA de diseño)	180.03	335.1	669.53	7.99	265.55	747.73	24.96	5.66	175.71	45.26	10.32	13.98	4.33	
IMDAo (redondeado)	(IMDA de diseño)	181	336	670	8	266	748	25	6	176	46	11	14	5	

Figura 16. Conteo de vehículos ligeros y pesados.

Fuente: Elaboración propia.

Factores Direccional y Factor Carril

El factor de distribución de carriles es la cantidad de EE en el carril con mayor concentración de tráfico. El diseño del pavimento tiene en cuenta el tráfico en el carril de diseño, el cual está determinado por el número de direcciones y carriles por vía. Se aplica un factor ponderado al IMD.

Tabla 15. *Factor direccional y Factor carril*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Tomada de la guía AASHTO 93.

Cálculo de Tasas de Crecimiento y Proyección

La ecuación 5 se puede emplear para determinar el crecimiento del tráfico, aplicándose la fórmula por separado al tráfico de vehículos de carga y al tráfico de vehículos de pasajeros.

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1} \quad (5)$$

En la que:

T_n = volumen de tráfico previsto en vehículos por día para el año "n"

T_o = volumen de tráfico actual en vehículos por día

n = Número de años del período de diseño

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito.

Las tasas de crecimiento anual del tráfico están asociadas con la expansión socioeconómica: el tráfico de vehículos de pasajeros está positivamente correlacionado con el crecimiento de la población, mientras que el tráfico de vehículos de carga está positivamente correlacionado con el crecimiento del PIB. Estos tipos suelen fluctuar entre el 2 % y el 6 %; sin embargo, pueden estar sujetos a fluctuaciones sustanciales en respuesta a nuevos acontecimientos en la región.

La estimación de la demanda se clasifica en dos tipos: la correspondiente a vehículos de pasajeros, determinada por la tasa de crecimiento poblacional, y la de vehículos comerciales, basada en la expansión económica. La elección del Factor de Crecimiento Acumulado (FCA) depende de la tasa de crecimiento anual y el horizonte de análisis.

Tabla 16. Tasa anual de crecimiento

Período de Análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Fuente: Tomada de la guía AASHTO 93.

Se sigue la ecuación 6:

$$\text{Factor Fca} = \frac{(1+r)^{n-1}-1}{r} \tag{6}$$

Donde:

r = Tasa de desarrollo anual

n = Periodo de diseño

Número de repeticiones de Ejes Equivalentes

El concepto de Ejes Equivalentes (EE) se emplea en el diseño de pavimentos designados para tráfico pesado, como autobuses y vehículos, para evaluar el impacto del tráfico sobre el pavimento. Un EE es el deterioro que resulta de un eje único de dos ruedas con una carga de 8,2 toneladas y neumáticos de 80 lbs/in², según AASHTO. Los EE son indicativos de la influencia de varias configuraciones de ejes en la estructura del pavimento. Se implementan relaciones simplificadas para calcular el EE, que se personalizan para adaptarse a una variedad de tipos de pavimento y configuraciones de ejes, según las tablas de la Guía AASHTO'93.

Tabla 17. Cargas en Ejes Equivalentes.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 tn})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$

P = peso real por eje en toneladas

Fuente: Tomada de la guía AASHTO 93.

Para diseñar un pavimento se determina el número proyectado de ejes equivalentes (EE) que circularán en el carril de diseño, el tramo más cargado de la vía. Este cálculo se amplía para abarcar todos los carriles del segmento de carretera típico, teniendo en cuenta la sección transversal, el número de calzadas y la distribución de carga. En este sentido, se realiza una estratificación muestral del tráfico en ausencia de estaciones de peaje para registrar cargas, con especial énfasis en vehículos grandes para adquirir datos detallados sobre ejes y carga. Los ejes equivalentes por tipo de vehículo pesado se promedian para determinar el Factor de Vehículo Pesado (Fvp). Además, el factor se ajusta para pavimentos flexibles y semirrígidos por la presión de los neumáticos, utilizando valores del Manual MS-1 del Asphalt Institute y una presión inicial de 80 psi para los cálculos.

Tabla 18. Factores de ajuste por presión de neumático (FP) para EE

Espeso de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contacto del Neumático (PCN) en psc PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (pai)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Fuente: Tomada de la guía AASHTO 93.

Nota:

- EE = Ejes Equivalentes
- Presión de inflado del neumático (Pin): presiones promedio de inflado de neumáticos por modelo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto del neumático (PCN): igual al 90% de la presión promedio de inflado de los neumáticos por categoría de vehículo pesado.
- El factor de cálculo se ajustará a 50 mm para espesores de capa de rodadura asfáltica inferiores a 50 mm.

Se utilizará la fórmula específica para cada tipo de vehículo para determinar el número de repeticiones de ejes equivalentes de 8,2 tn durante el periodo de diseño. Se sumarán los resultados de las distintas categorías de vehículos pesados considerados:

Tabla 19. Cálculo de Número de repeticiones

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8.2t	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
EE_{día-carril}	<p>EE_{día-carril} = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> <p>EE_{día-carril} = IMD_p x Fd x Fc x Fvp_i x Fp_i</p> <p>donde:</p> <p>IMD_p: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i)</p> <p>Fd: Factor Direccional, según Cuadro N°6.1.</p> <p>Fc: Factor Carril de diseño, según Cuadro N°6.1.</p> <p>Fvp_i: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.</p> <p>Fp: Factor de Presión de neumáticos, según Cuadro N° 6.13.</p>
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 6.2)
365	Número de días del año
Σ	Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

Fuente: Tomada de la guía AASHTO 93.

Una vez calculada los ejes equivalentes por día por carril se procederá a calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes por día en un año mediante la ecuación 7:

$$Nrep\ de\ EE_{8.2tn} = \sum [EE_{día-carril} \times Fca \times 365] \quad (7)$$

Donde:

NrepEE : Número de repeticiones de ejes equivalentes.

EE_{día-carril}: Numero de ejes equivalentes por día por carril.

Fca : Factor de corrección de vehículos ligeros/carga.

N°	FECHA	SENTIDO	VEHICULOS LIGEROS							VEHICULOS PESADOS					
			AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MINIVAS	MICRO	BUS 2 E	CAMION			>= 3S3	3T2
					PICK UP	PANEL	RURAL Combi				2 E	3 E	4 E		
DIAGRAMA. VEHICULOS.															
01	Domingo, 10 de Diciembre de 2023	ENTRAD.	68.00	102.00	167.00	3.00	179.00	169.00	7.00	2.00	23.00			4.00	
		SALIDA	37.00	101.00	179.00	4.00	117.00	175.00	10.00		15.00			3.00	
		TOTAL	105.00	203.00	346.00	7.00	296.00	344.00	17.00	2.00	38.00	-	-	7.00	-
02	Lunes, 11 de Diciembre de 2023	ENTRAD.	48.00	112.00	262.00	2.00	71.00	461.00	6.00		62.00	21.00	-	2.00	
		SALIDA	29.00	60.00	145.00	3.00	57.00	342.00	8.00	1.00	34.00	18.00	1.00	3.00	
		TOTAL	77.00	172.00	407.00	5.00	128.00	803.00	14.00	1.00	96.00	39.00	1.00	5.00	-
03	Martes, 12 de Diciembre de 2023	ENTRAD.	52.00	105.00	246.00	4.00	52.00	158.00	8.00	1.00	54.00	10.00	3.00	2.00	1.00
		SALIDA	47.00	53.00	145.00	1.00	49.00	143.00	3.00	1.00	43.00	10.00	1.00	4.00	-
		TOTAL	99.00	158.00	391.00	5.00	101.00	301.00	11.00	2.00	97.00	20.00	4.00	6.00	1.00
04	Miercoles, 13 de Diciembre de 2023	ENTRAD.	44.00	94.00	201.00	1.00	60.00	162.00	9.00	1.00	63.00	11.00	2.00	5.00	
		SALIDA	39.00	68.00	152.00	0.00	53.00	130.00	8.00	1.00	51.00	10.00	1.00	3.00	
		TOTAL	83.00	162.00	353.00	1.00	113.00	292.00	17.00	2.00	114.00	21.00	3.00	8.00	-
05	jueves, 14 de Diciembre de 2023	ENTRAD.	46.00	75.00	135.00		58.00	158.00	5.00		46.00	10.00	1.00	3.00	
		SALIDA	48.00	65.00	184.00		46.00	165.00	5.00		41.00	14.00		5.00	
		TOTAL	94.00	140.00	319.00	-	104.00	323.00	10.00	-	87.00	24.00	1.00	8.00	-
06	viernes, 15 de Diciembre de 2023	ENTRAD.	69.00	125.00	240.00	3.00	92.00	340.00	2.00	2.00	66.00	15.00	8.00	3.00	
		SALIDA	74.00	116.00	242.00	2.00	85.00	323.00	5.00	1.00	55.00	17.00	4.00	3.00	
		TOTAL	143.00	241.00	482.00	5.00	177.00	663.00	7.00	3.00	121.00	32.00	12.00	6.00	-
07	sabado, 16 de Diciembre de 2023	ENTRAD.	74.00	164.00	219.00		93.00	264.00	10.00		50.00	14.00	4.00	2.00	
		SALIDA	76.00	161.00	302.00		97.00	157.00	8.00		35.00	8.00			
		TOTAL	150.00	325.00	521.00	0.00	190.00	421.00	18.00	-	85.00	22.00	4.00	2.00	-
IMDs (Indice Medio Diario Semanal) 2023	ENTRAD.	57.29	111.00	210.00	1.86	86.43	244.57	6.71	0.86	52.00	11.57	2.57	3.00	0.14	
	SALIDA	50.00	89.14	192.71	1.43	72.00	205.00	6.71	0.57	39.14	11.00	1.00	3.00	0.00	
	TOTAL	107.29	200.14	402.71	3.29	158.43	449.57	13.43	1.43	91.14	22.57	3.57	6.00	0.14	
FC (Factor de Corrección)		FC	0.84674777602460							0.94849792762698					
IMDa (Indice Medio Diario Anual) 2023	ENTRAD.	48.51	93.99	177.82	1.57	73.18	207.09	5.69	0.81	49.32	10.98	2.44	2.85	0.14	
	SALIDA	42.34	75.48	163.18	1.21	60.97	173.58	5.69	0.54	37.13	10.43	0.95	2.85	0.00	
	TOTAL	90.84	169.47	341.00	2.78	134.15	380.67	11.37	1.35	86.45	21.41	3.39	5.69	0.14	
	TOTAL (To)	91.00	170.00	341.00	3.00	135.00	381.00	12.00	2.00	87.00	22.00	4.00	6.00	1.00	

Figura 17. Resumen de conteo de vehículos ligeros y pesados.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. *Periodo de diseño del pavimento.*

Periodo de Diseño (años)	Pd (n)	20.00
Tasa anual de Crecimiento Veh. Pesados	r	2.58%
Factor de Crecimiento Acumulado Veh. Pesados	Fca	25.75
Factor de Distribución Direccional	Fd	0.50
Factor de Distribución de Carril	Fc	1.00
Factor de ajuste por presión de Neumático	Fp	1.00
Número de EE (Ejes Equivalentes)	ESAL FLEXIBLE	5,274,359.85
Equivalent Single Axle Load (ESALs)	ESAL RÍGIDO	6,082,470.48

Fuente: *Elaboración propia.*

A continuación, se muestra el diseño del pavimento:

Tabla 21. *Diseño de la estructura del pavimento flexible de la carretera de San Antonio a Quilpapuncu.*

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	VALOR
Cantidad de Ejes Equivalentes (ESAL)	W18	5,274,359.847
CBR de la Sub rasante	CBR (%)	7.300
Módulo de Resiliencia (MR (psi)=2555xcbr ^{0.64})	Mr (psi)	9,118.377
Tipo de Tráfico	T(i)	TP8
Número de Etapas	Etapa	1.000
Nivel de Confiabilidad (%)	(%)	90.000
Desviación Estándar Normal	Zr	-1.282
Desviación Estándar Combinada	So	0.450
Índice de Serviciabilidad Inicial (según rango de tráfico)	Pi	4.000
Índice de Serviciabilidad Final (según rango de tráfico)	Pt	2.500
Diferencial de Serviciabilidad	ΔPSI	1.500

Nota: *La tabla muestra los valores obtenidos de cada descripción.*

Nuestro valor de la CBR fue tomado de PROVIAS, el índice de serviciabilidad fue tomado del diseño de pavimentos, el ESAL fue elaborado por nosotros y eso permitió la obtención del módulo de resiliencia. La desviación estándar del manual de carreteras.

A partir de los parámetros dados y la ecuación 8 se obtiene el valor del número estructural (SN).

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (8)$$

El valor obtenido es 4.356.

N° Estructural Óptima	SN	4.356
------------------------------	-----------	--------------

A partir del SN se procede a calcular el espesor de cada capa estructural del pavimento flexible usando la ecuación 9:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3 \quad (9)$$

Tabla 22. Coeficiente estructural por capas.

COEFICIENTE ESTRUCTURAL POR CAPAS			a(i)	
Capa superficial	Carpeta asfáltica en frío, mezcla asfáltica en emulsión	capa asfáltica recomendada para tráfico <= 1'000,000 EE	a1	0.125
Base	Base granular CBR 80 % compactada al 100 % de la MDS	capa base recomendada para tráfico <= 1'000,000 EE	a2	0.052
Subbase	subbase granular CBR 40% compactada al 100 % de la MDS	capa de subbase recomendada con CBR mínimo 40% para todos los tipos de tráfico	a3	0.047
ESPESOR POR CAPAS			d(i)	
	Capa superficial		d1 (cm)	5.000
	Base		d2 (cm)	35.000
	Subbase		d3(cm)	45.000
COEFICIENTE DE DRENAJE POR CAPAS			m(i)	
	Base		m2	1.000
	Subbase		m3	1.000

Nota: La tabla anterior muestra los valores según las capas.

La Tabla 22, ofrece detalles completos sobre las características estructurales de un pavimento, específicamente los coeficientes estructurales, espesores y coeficientes de drenaje de las distintas capas que lo componen. La primera tabla detalla los coeficientes estructurales, que miden la contribución de cada capa a la capacidad total del pavimento. La capa superficial, compuesta por carpeta asfáltica en frío y mezclas asfálticas en emulsión, tiene un coeficiente de 0.125 para tráfico de hasta 1,000,000 Ejes Equivalentes (EE). La base granular con un CBR del 80 % y compactada al 100 % de la Máxima Densidad Seca (MDS) tiene un coeficiente de 0.052, mientras que la subbase granular con un CBR del 40% compactada al 100 % de la MDS presenta un coeficiente de 0.047.

La segunda parte de la misma tabla, especifica los espesores de cada capa del pavimento. La capa superficial tiene un espesor de 5.000 cm, la base cuenta con 35.000 cm y la subbase tiene 45.000 cm de espesor. Estos espesores son esenciales para garantizar una estructura de pavimento robusta y duradera, adecuada para soportar las cargas de tráfico previstas.

La tercera parte de la tabla, presenta los coeficientes de drenaje para las capas base y subbase, ambos con un valor de 1.000. Estos coeficientes indican que ambas capas son efectivas en la gestión del agua, lo cual es crucial para mantener la integridad y la durabilidad del pavimento al evitar problemas relacionados con la humedad.

3.4. Ensayos de laboratorio del aceite

El aceite usado es de un vehículo ligero que mantiene un recorrido de 3500 km, más conocido como aceite de motor.

Tabla 23. *Ubicación de muestreo.*

Código	Dist./Prov./Depart.	Ubicación
M1	Juliaca/ San Román/ Puno	E: 377747.14 N: 8288008.31

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 24. *Método de ensayo.*

PARÁMETRO	UNIDAD	METODOLOGÍA
Viscosidad a 40°C	g/cm ³	Viscosímetro
Gravedad	g/cm ³	ASTM D368
Peso Específico	Kg/L	Gravimétrico
% De Agua	%	Gravimétrico
Sedimentos	%	ASTM D473
Benceno (insoluble)	%	ASTM 893
Gasolina (soluble)	%	ASTM D325
Punto de Ignición	°C	ASTM D92
Poder Calorífico	MJ/Kg	Viscosímetro

Fuente: *Elaboración propia.*

A partir del ensayo de laboratorio del aceite residual automotriz se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 25. *Datos de resultado del análisis químico del aceite.*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO (M1)
Viscosidad a 40°C	g/cm ³	84.2
Gravedad	g/cm ³	20.0
Peso Especifico	Kg/L	0.725
% De Agua	%	0.83
Sedimentos	%	2.0
Benceno (insoluble)	%	2.68
Gasolina (soluble)	%	4.32
Punto de Ignición	°C	83.41
Poder Calorífico	MJ/Kg	42.364

Fuente: *Elaboración propia.*

3.5. Ensayos de laboratorio de agregados

Se realizaron evaluaciones de materiales de acuerdo con las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (EG-2013) para asegurar que los materiales cumplan con los requisitos mínimos y máximos establecidos, logrando así el objetivo del proyecto.

3.5.1. Propiedades físicas

3.5.1.1. Análisis Granulométrico

En la norma ASTM D-422 se describe un procedimiento de medición para determinar la distribución cuantitativa de los tamaños de partículas en los suelos. Este análisis es fundamental para la clasificación del suelo en un sistema basado en su granulometría.

PROCEDIMIENTO:

La muestra se deseca durante 24 horas a una temperatura de 110° Celsius, con una tolerancia de más o menos 5° Celsius. La muestra se retira del horno después de este período.



Figura 18. Secado de las muestras.

Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 19. Lavado del agregado grueso por el tamiz # 200.

Fuente: *Elaboración propia.*

Se colocaron los tamices descendentes (según el diámetro de la abertura) y se pesó una cantidad de agregado para la realización del tamizado, luego se procede a realizar un movimiento manual en forma de zarandeo, seguidamente se procederá a pesar individualmente cada uno de los tamices con el material retenido.



Figura 20. Tamizado del agregado para el ensayo de granulometría.

Fuente: *Elaboración propia.*

Se tomaron los datos de los pesos retenidos del agregado para que luego fueran llevados al programa Excel para procesar la información.



Figura 21. Determinación de la distribución de partículas del agregado.

Fuente: *Elaboración propia.*

Se realizó dicho ensayo a la Piedra Chancada 1/2", Arena Chancada, Arena Zarandeada Natural y al Agregado Fino.

Tabla 26. Análisis granulométrico de la Piedra Chancada 1/2".

Tamices Astm	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa
3 in.	75.000	-			
2 in.	50.000	-			
1 1/2 in.	37.500	-			
1 in.	25.000	-		0.00%	100.00%
3/4 in.	19.000	-	0.00%	0.00%	100.00%
1/2 in.	12.500	1,425.0	51.20%	51.20%	48.80%
3/8 in.	9.500	1,245.0	44.70%	95.90%	4.10%
No. 4	4.750	60.0	2.20%	98.10%	1.90%
No. 10	2.000	-	0.00%	98.10%	1.90%
No. 20	0.850	-	0.00%	98.10%	1.90%
No. 40	0.425	-	0.00%	98.10%	1.90%
No. 60	0.250	-	0.00%	98.10%	1.90%
No. 100	0.150	-	0.00%	98.10%	1.90%
No. 200	0.075	-	0.00%	98.10%	1.90%
Fondo		55.0	2.00%	100.10%	

Fuente: *Elaboración propia.*

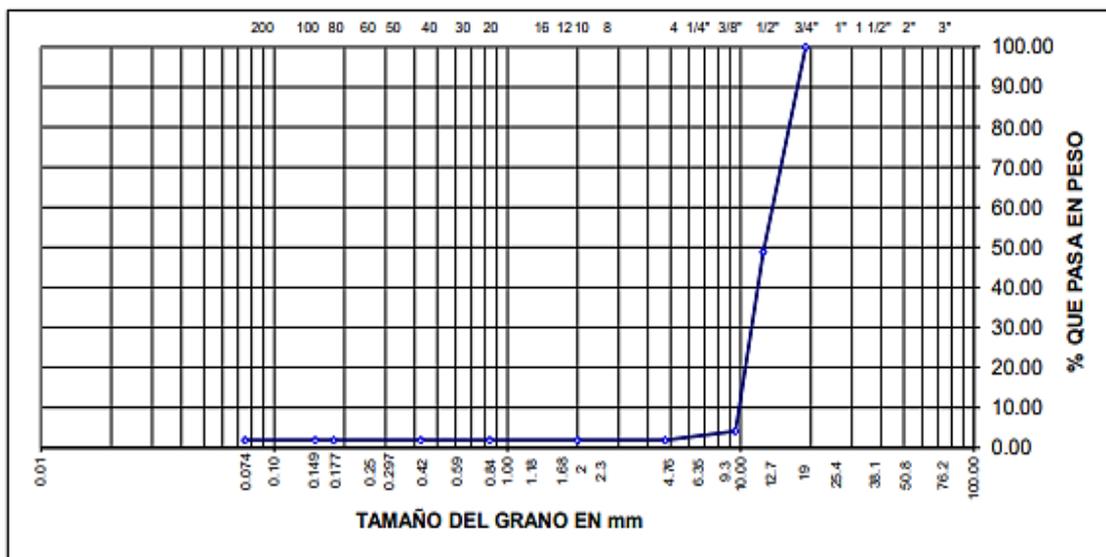


Figura 22. Curva granulométrica de la Piedra Chancada 1/2".

Fuente: *Elaboración propia.*

Según la tabla y la figura anterior, se observa que el agregado tiene un tamaño máximo nominal de 1/2".

Tabla 27. Análisis granulométrico de la Arena Chancada.

Tamices Astm	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa
3 in.	75.000	-			
2 in.	50.000	-			
1 1/2 in.	37.500	-			
1 in.	25.000	-			
3/4 in.	19.000	-			100.00%
1/2 in.	12.500	-			100.00%
3/8 in.	9.500	-	0.00%	0.00%	100.00%
No. 4	4.750	514.0	21.80%	21.80%	78.20%
No. 10	2.000	602.0	25.50%	47.30%	52.70%
No. 20	0.850	442.0	18.70%	66.00%	34.00%
No. 40	0.425	239.0	10.10%	76.10%	23.90%
No. 60	0.250	217.0	9.20%	85.30%	14.70%
No. 100	0.150	61.0	2.60°	87.90%	12.10%
No. 200	0.075	78.0	3.30%	91.20%	8.80%
Fondo		206.0	8.70%	99.90%	

Fuente: *Elaboración propia.*

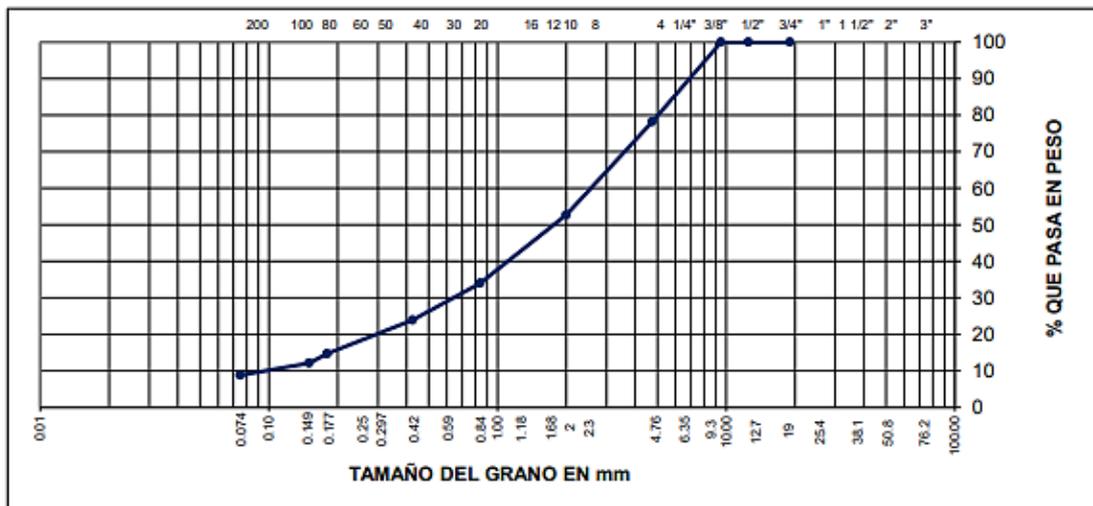


Figura 23. Curva granulométrica de la Arena Chancada.

Fuente: *Elaboración propia.*

Según la tabla y la figura anterior, se observa que el agregado tiene un tamaño máximo nominal de N° 04 (4.75mm).

Tabla 28. Análisis granulométrico de la Arena Zarandeada Natural.

Tamices Astm	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa
3 in.	75.000	-			
2 in.	50.000	-			
1 1/2 in.	37.500	-			
1 in.	25.000	-			
3/4 in.	19.000	-			100.00%
1/2 in.	12.500	-			100.00%
3/8 in.	9.500	7.0	0.60°	0.60°	99.40%
No. 4	4.750	51.0	4.00%	4.60°	95.40%
No. 10	2.000	128.0	10.10%	14.70%	85.30%
No. 20	0.850	212.0	16.80%	31.50%	68.50%
No. 40	0.425	324.0	25.60°	57.10%	42.90%
No. 80	0.180	442.0	35.00%	92.10%	7.90%
No. 100	0.150	44.0	3.50%	95.60°	4.40%
No. 200	0.075	24.0	1.90%	97.50%	2.50%
Fondo		32.0	2.50%	100.00%	

Fuente: *Elaboración propia.*

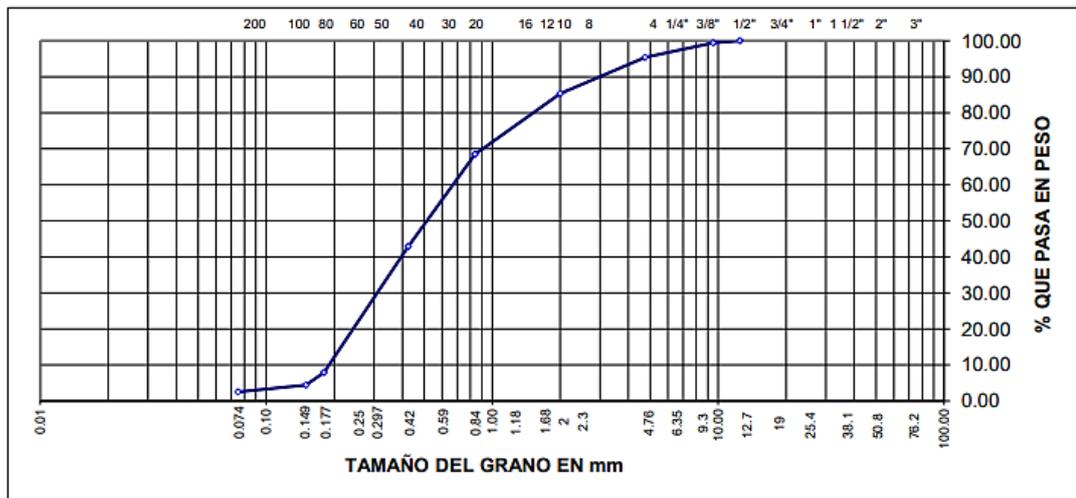


Figura 24. Curva granulométrica de la Arena Zarandeada Natural.

Fuente: *Elaboración propia.*

Según la tabla y la figura anterior, se observa que el agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/8”.

Tabla 29. Análisis granulométrico del Agregado Fino.

Tamices Astm	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa
3 in.	75.000	-			
2 in.	50.000	-			
1 1/2 in.	37.500	-			
1 in.	25.000	-			
3/4 in.	19.000	-			
1/2 in.	12.500	-			
3/8 in.	9.500	-			
No. 4	4.750	-			100.00%
No. 10	2.000	-		0.00%	100.00%
No. 20	0.850	-		0.00%	100.00%
No. 30	0.600	2.0	0.10%	0.10%	99.90%
No. 40	0.425	14.0	0.50%	0.50%	99.50%
No. 80	0.180	18.0	0.70%	1.20%	98.80%
No. 100	0.150	32.0	1.20%	2.40%	97.60°
No. 200	0.075	222.0	8.40%	10.80%	89.20%
Fondo		2,346.0	89.10%	99.90%	

Fuente: *Elaboración propia.*

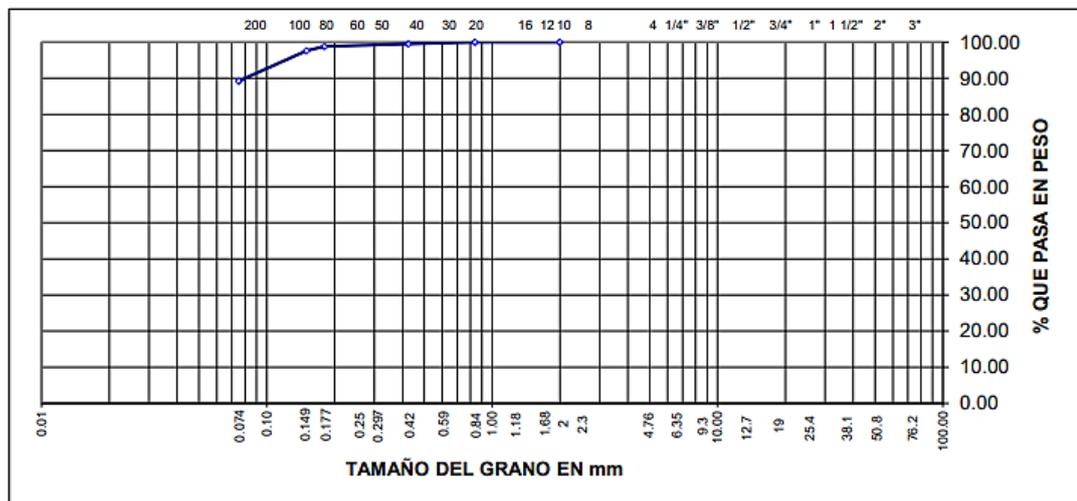


Figura 25. Curva granulométrica del Agregado Fino.

Fuente: *Elaboración propia.*

Según la tabla y la figura anterior, se observa que el agregado tiene un tamaño máximo nominal de N° 30 (0.600 mm).

Para obtener un agregado óptimo se propone una combinación de agregados, en donde se mezcla la piedra chancada, arena chancada, arena natural y filler, los cuales cumplen los rangos de las especificaciones.

Tabla 30. Análisis granulométrico del MEZCLA DE AGREGADOS.

Tamices Astm	Abertura (mm)	% que Pasa	% que Pasa	% que Pasa	% que Pasa	% que Pasa	Esp.
3 in.	75.000	Piedra	Arena	Arena		Mezcla	
2 in.	50.000	Chancada	Chancada	Natural	Filler	Total	
1 1/2 in.	37.500	30.00%	41.00%	26.00%	3.00%	100.00%	
1 in.	25.000						
3/4 in.	19.000	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100 - 100
1/2 in.	12.500	48.80%	100.00%	100.00%	100.00%	86.64%	80 - 100
3/8 in.	9.500	4.10%	100.00%	99.40%	100.00%	74.07%	70 - 88
No. 4	4.750	1.90%	78.20%	95.40%	100.00%	60.44%	51 - 68
No. 10	2.000	1.90%	52.70%	85.30%	100.00%	47.36%	38 - 52
No. 20	0.850	1.90%	34.00%	68.50%	100.00%	33.32%	
No. 40	0.425	1.90%	23.90%	42.90%	99.50%	24.51%	17 - 28
No. 80	0.180	1.90%	14.70%	7.90%	98.80%	11.62%	8 - 17
No. 100	0.150	1.90%	12.10%	4.40%	97.60°	9.60°	
No. 200	0.075	1.90%	8.80%	2.50%	89.20%	7.50%	4 - 8
Fondo							

Fuente: Elaboración propia.

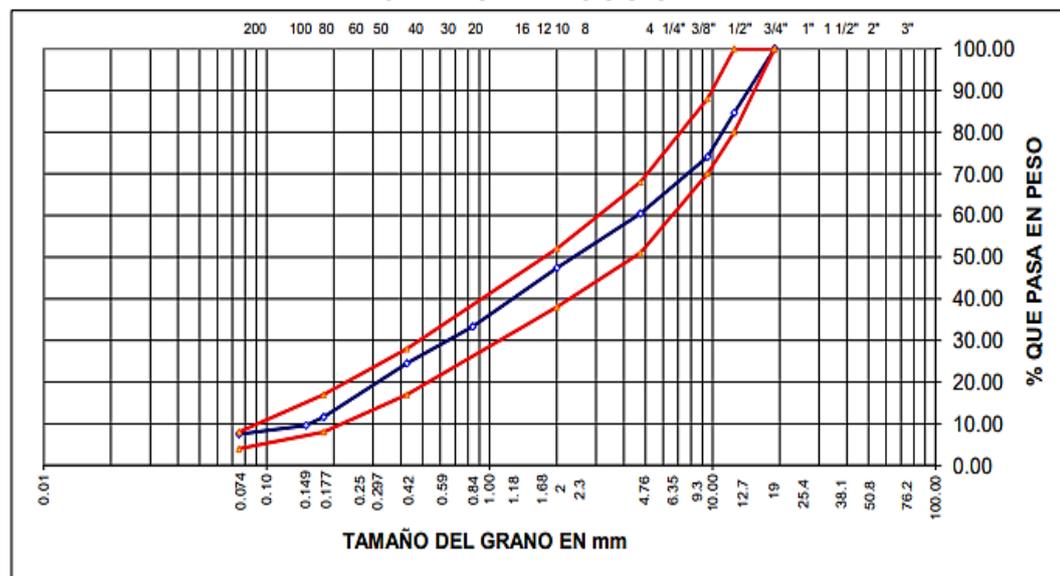


Figura 26. Curva granulométrica de la mezcla de agregados.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.2 Gravedad Específica y Absorción.

Metodología:

Previamente seleccionada nuestra muestra para poder ensayar, para este caso, se van a necesitar 5 kg de este agregado. Lo primero es pesar nuestra muestra para poder obtener 5 kg de agregado que será la cantidad ensayada. Posteriormente, se coloca esta muestra a la estufa para que durante 24 horas hasta obtener una muestra totalmente seca sin agua de manera natural. Luego, se coloca la muestra totalmente sumergida en agua y se deja por un lapso de 24 horas.

Una vez tengamos la muestra remojada durante 24 horas, procedemos a sacar esta muestra para que sea secada, según indica el procedimiento de la norma. Después, se saca toda la muestra y se esparce con la finalidad de eliminar toda el agua superficial que contenga esta muestra. La esparcimos la secamos con la franela. Luego, pesar esta muestra que va a constituir un dato importante. Seguidamente, se procede a usar una canastilla y a colocar el material con el objetivo de obtener de tener el peso totalmente sumergido, este peso se registra para nuestro ensayo y cálculos posteriores. Esta es llevada nuevamente al horno igual a 110 grados Celsius por el lapso de 24 horas para determinar el último peso que es la muestra totalmente seca.



Figura 27. Ensayo de absorción y gravedad específica.

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 31. Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.

AGREGADO GRUESO			
DISCRIMINACION	N° DE MUESTRA		
	1	2	3
A. Peso material saturado superficialmente seca (en el aire) g	1803	872	981
B. Peso material saturado superficialmente seca (en agua) g	1105	535	605
C. Volumen de masa + volumen de vacíos cm ³	698	337	376
D. Peso material seco g	1761	852	958
E. Volumen de masa cm ³	656	317	353
F. Peso Específico Bulk (base seca) g/cm ³	2.523	2.548	2.548
G. Peso Específico Bulk (base saturada) g/cm ³	2.583	2.609	2.609
H. Peso Específico Aparente (base seca) g/cm ³	2.684	2.714	2.714
I. Absorción %	2.39	2.4	2.4

Fuente: *Elaboración propia.***Tabla 32.** Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino Chancada

AGREGADO FINO CHANCADA			
DISCRIMINACION	N° DE MUESTRA		
	1	2	3
A. Peso material saturado superficialmente seca (en el aire) g	520	536	571
B. Peso material saturado superficialmente seca (en agua) g	321	331	353
C. Volumen de masa + volumen de vacíos cm ³	199	205	218
D. Peso material seco g	507	522	557
E. Volumen de masa cm ³	186	191	204
F. Peso Específico Bulk (base seca) g/cm ³	2.548	2.546	2.555
G. Peso Específico Bulk (base saturada) g/cm ³	2.613	2.615	2.619
H. Peso Específico Aparente (base seca) g/cm ³	2.726	2.733	2.73
I. Absorción %	2.56	2.68	2.51

Fuente: *Elaboración propia.***Tabla 33.** Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Fino Natural

AGREGADO FINO NATURAL			
DISCRIMINACION	N° DE MUESTRA		
	1	2	3
A. Peso material saturado superficialmente seca (en el aire) g	300	300	300
B. Peso frasco + H ₂ O	667.5	667.2	668.3
C. Peso frasco + H ₂ O + (A)	967.5	967.2	968.3
D. Peso frasco + H ₂ O en el frasco	852	852	852.4
E. Volumen de masa + volumen de vacíos cm ³	115.5	115.2	115.9
F. Peso material seco g	293.1	293.3	293.2
G. Volumen de masa	108.6	105	109.1
H. Peso Específico Bulk (base seca) g/cm ³	2.538	2.546	2.53
I. Peso Específico Bulk (base saturada) g/cm ³	2.597	2.604	2.588
J. Peso Específico Aparente (base seca) g/cm ³	2.699	2.793	2.687
K. Absorción %	2.35	2.28	2.32

Fuente: *Elaboración propia.*

De acuerdo a la información de las tablas, el porcentaje de absorción de los agregados finos no cumple con los límites establecidos en el Manual Vial – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción – EG-2013, que dicta un máximo de 0.5 % para agregados finos. En cambio, cumple con los agregados gruesos, ya que no excede el máximo de 10 % para agregados gruesos.

3.5.1.3 Partículas Chatas y Alargadas

Metodología:

Se implementaron ensayos de partículas planas y alargadas para evaluar la morfología del agregado grueso (ASTM D 4791 / MTC E 223 – 2016). Esta prueba cuantifica la proporción de partículas con una relación longitud/espesor que excede umbrales específicos, incluidos 2/1, 3/1, 4/1 y 5/1. Para el análisis se utilizará la proporción 3/1, según el MTC.

Las muestras se visualizan y seleccionan en base a la granulometría de la piedra pulverizada de las cribas de 19.0mm (3/4"), 12.7mm (1/2") y 9.5mm (3/8"). Se clasificará en una de dos categorías: planas y alargadas o no planas y alargadas. El porcentaje de partículas planas y alargadas se determinará después de que las partículas se clasifiquen en las categorías.



Figura 28. Determinación de partículas chatas y alargadas

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 34. Resultados del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en piedra chancada 1/2"

A. Peso total de la muestra	1000 gramos
B. Partículas chatas y alargadas	7.90%

Fuente: *Elaboración propia.*

La tabla indica que las partículas planas y alargadas se encuentran dentro del rango del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción – EG-2013, sección 423, que establece un límite máximo del 10 %.

3.5.1.4 Partículas Fracturadas

Metodología:

La angularidad e irregularidad del agregado se evaluaron mediante la medición del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E 210 – 2016 / ASTM D 5821). Esta característica es esencial porque influye en la resistencia del esqueleto mineral al mejorar el entrelazamiento durante la compactación.

El paso inicial es considerar la granulometría ya realizada y, posteriormente, fraccionar el material. En nuestro caso solo obtuvimos los tamices de 19,0 mm (3/4"), 12,7 mm (1/2") y 9,5 mm (3/8"), y después visualizamos si contenían fracturas. Separamos las fracturas de las partículas no fracturadas y se determinó si el porcentaje de partículas fracturadas existentes era unilateral o bilateral. Este procedimiento se implementa para cada fracción incluida en el examen.



Figura 29. Determinación de partículas fracturadas.

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 35. Resultados del Ensayo de Partículas fracturadas (01 cara).

A. Peso total de la muestra	1000 gramos
B. % Partículas 01 cara fracturada	87.10%

Fuente: *Elaboración propia.*

La tabla indica que el 87.10 % del material tiene la cara fracturada. Esto depende de la máquina y de los diversos agentes atmosféricos que están presentes durante el proceso de pulverización del material. La norma específica un valor mínimo del 75 %.

Tabla 36. Resultados del Ensayo de Partículas fracturadas (02 caras).

A. Peso total de la muestra	1000 gramos
B. % Partículas 02 caras fracturadas	66.30%

Fuente: *Elaboración propia.*

Interpretación:

De acuerdo con la tabla, se observa que el 66.3 % del material presenta dos caras fracturadas, lo cual está influenciado por diversos factores atmosféricos y el proceso de trituración realizado por la máquina. La normativa establece un requisito mínimo del 60 %.

4.1.1.4 Equivalente de Arena

Metodología:

Se requiere una cápsula de 90 mililitros con material con una fracción representativa del material que pasa la malla número 4, el cual debe de encontrarse en condiciones saturadas superficialmente secas.

En un embudo vamos a colocar el material dentro de la probeta graduada con 4 pulgadas de solución patrón. Se procede el colocado del material dentro de la solución patrón, después, se satura durante un periodo de 10 minutos. Una vez transcurridos los diez minutos tomaremos nuestra probeta, le colocaremos un tapón y procederemos a agitarla durante 30 segundos por 90 ciclos, esto, se puede realizar con un agitador mecánico o realizarse de forma manual. Seguidamente, con ayuda de un tubo irrigador, vamos a limpiar el fondo de nuestra probeta con mucho cuidado y recuperamos parte del material que se quedó adherido en la parte superior del tubo y finalmente llenamos hasta la marca de 15 pulgadas que sería el tope de nuestro de nuestra probeta graduada

Una vez realizado esto, dejamos reposar el material durante 20 minutos en un lugar donde no haya vibraciones y la probeta se mantenga en condiciones estáticas. Procederemos a tomar la

lectura de material fino una vez tomada esa lectura procederemos a determinar la lectura de arena para lo cual utilizaremos un émbolo. La característica de este émbolo es que del fondo hasta esta marca blanca que tenemos hay 10 pulgadas, entonces, con mucho cuidado, se introduce dentro el tubo con la muestra tratando de no agitar los finos para evitar que nos impidan la visibilidad de la lectura. Finalmente, tomamos la lectura de arena.



Figura 30. Realización del ensayo equivalente de arena.

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 37. Resultados del Ensayo de equivalente de arena.

MUESTRA	RESULTADO
MEZCLA AGREGADOS FINOS	79.7%

Fuente: *Elaboración propia.*

Interpretación:

De acuerdo con la tabla, el resultado obtenido de 79.7 % se encuentra dentro del rango establecido por el MTC en su Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013, sección 403, que señala un valor mínimo de 35 %.

3.5.2 Propiedades Mecánicas

3.5.2.1 Abrasión

Metodología:

Este ensayo sirve para medir el desgaste de los materiales para saber en cuánto tiempo aproximado sirve material o cuánto tiempo se va desgastar. Para ello, es necesario conocer las

granulometrías del ensayo que es A B C o D. Según lo obtenido, se usará el número de esferas que vamos a utilizar. Para la preparación de la muestra, se debe lavar y secar durante 24 horas al horno y luego se procederá a la colocación a la máquina de Los Ángeles es un cilindro hueco los cuales debe tener una especificación que longitud inferior 508 más o menos 5 mm diámetro interior de 711 más o menos 5 mm y un acero de una tapa con de acero entre 11.5 y 13 mm.

Entonces, se procede a colocar el material y las esferas en su interior y se coloca la tapa. Se programa 500 revoluciones al equipo, después de 500 revoluciones sacamos el material por la parte de abajo. Se procede a retirar la carga y ese material se pasa por el tamiz número 12, después se lava y se coloca al horno 24 horas.



Figura 31. Ensayo Abrasión de los Ángeles.

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 38. Resultados del Ensayo Abrasión de los Ángeles.

Muestra	RESULTADO
PIEDRA CHANCADA 1/2"	27.73%

Fuente: *Elaboración propia.*

El desgaste por abrasión del agregado grueso representa el 27.73 % de su peso original. De acuerdo con el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales de Construcción – EG-2013 del MTC, se establece un límite máximo del 40 % para altitudes menores a 3000 metros sobre el nivel del mar y del 35 % para altitudes superiores. Por lo tanto, el resultado obtenido cumple con los criterios establecidos.

3.6. Elaboración de la mezcla asfalto en frío

3.6.1. Número de golpes

En base a los números de golpes, se realizaron 50 por cada cara de la probeta, según el manual de SENCICO en su tabla 31 nos muestra que se clasificaría dentro de un tránsito mediano por ende su EAL, está en el rango de 10^4 y 10^6

Tabla 39. Cálculo de Número de repeticiones.

Criterios en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Vías Locales	Vías Colectivas y Artesanales	Vías Expresas
	$EAL < 10^4$	$10^4 \leq EAL < 10^6$	$EAL \geq 10^6$
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Número de Golpes en cada cara de la Probeta	35	50	75
Estabilidad Mínima, KN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0.25 mm (min-max)	8 – 18	8 - 16	8 - 14
Porcentaje de Vacíos llenos de aire**, (min-max)	3-5	3-5	3-5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral ***, VMA (min-max)		Ver Tabla 32	
Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto, VFA (min-max)	70 – 80	65 - 78	65 - 75

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones (2010) norma Ce.0.10 Pavimento Urbano.

3.6.2. Elaboración de las briquetas

A. Muestra patrón

Basado en estudios previos, se evaluaron cuatro proporciones: 9, 10, 11 y 12, como se muestra en el cuadro adjunto. Se prepararon cuatro series de probetas en temperaturas de 45°C, 60°C, 75°C aplicando 50 golpes en cada cara de las probetas. Los resultados indican, que la estabilidad, porcentaje de vacíos y la densidad seca, la proporción 10.5 es la más adecuada. Estos resultados sugieren que esta proporción será el diseño estándar para la elaboración futura de las probetas.

Tabla 40. Dosificación de la Mezcla Asfáltica en frío Patrón.

Número de briquetas	1	2	3	4
Pen	9 %	10%	11%	12%
Piedra Chancada	327.6	324.0	320.4	316.8
Arena Chancada	447.7	442.8	437.9	432.96
Arena Natural	283.9	280.8	277.7	274.56
Filler	32.8	32.4	32.04	31.68
Sub total	1092	1080	1068	1056
Emulsión	108	120	132	144
TOTAL	1200	1200	1200	1200

Fuente: *Elaboración propia.*

Resultados obtenidos en el Ensayo Marshall.

Temperatura de 45°C

% Cemento Asfáltico	% de Emulsión	Peso Unitario	% de Vacíos	Densidad	Estabilidad
5.5	9	2.202	8.6	2.207	1194
6.0	10	2.05	6.6	2.191	1076
6.5	11	2.05	7.6	2.291	955
7.0	12	2.02	10.2	2.248	839
6.3	10.5	2.05	7.1	2.241	1015.5

Fuente: *Elaboración propia.*

Temperatura de 60°C

% Cemento Asfáltico	% de Emulsión	Peso Unitario	% de Vacíos	Densidad	Estabilidad
5.5	9	2.03	8.1	2.205	1434
6	10	2.06	5.9	2.188	1287
6.5	11	2.08	7.2	2.215	1045
7	12	2.04	9.3	2.246	962
6.3	10.5	2.07	6.55	2.2015	1166

Fuente: *Elaboración propia.*

Temperatura de 75°C

% Cemento Asfáltico	% de Emulsión	Peso Unitario	% de Vacíos	Densidad	Estabilidad
5.5	9	2.04	7.4	2.208	1510
6	10	2.08	5.2	2.192	1378
6.5	11	2.08	6.4	2.219	1164
7	12	2.05	9.2	2.252	1086
6.3	10.5	2.08	5.8	2.2055	1271

Fuente: *Elaboración propia.*

Basándose en los resultados obtenidos, se evaluó el porcentaje de vacíos, la estabilidad y la densidad seca de la mezcla. Tomando en cuenta estos datos, se determinó que el porcentaje óptimo de asfalto se encuentra entre el 10 % y el 11 %, estableciéndose un valor ideal de 10.5 %, lo que indica que es el punto óptimo, ya que proporciona una combinación ideal.

A. Incorporando las dosificaciones

Se realizó la elaboración de la briqueta patrón y la elaboración de briquetas con aceite incorporando 1 %, 2 % y 3 %. Seguidamente, se muestra el procedimiento y el cuadro de las cantidades de las proporciones usadas para cada temperatura (45°C, 60°C, 75°C) y porcentaje de aceite.

Paso 1: Preparación del Material

- **Recolección de materiales:** Se necesitan agregados (piedra chancada, arena chancada, filler, arena natural), emulsión, moldes (cilíndricos o prismáticos), un compactador y herramientas de laboratorio como balanzas, espátulas y termómetros.
- **Calentamiento de la emulsión:** según lo requerido.

Paso 2: Mezclado del Asfalto

- **Mezclado:** Combinar los agregados con la emulsión hasta lograr una mezcla homogénea.
- **Control de temperatura:** Asegurar que la mezcla mantenga una temperatura adecuada durante todo el proceso.

Paso 3: Preparación de Moldes

- **Engrase de moldes:** Aplicar una capa de grasa en los moldes para evitar que el asfalto se adhiera a ellos.

- Llenado de moldes: Llenar los moldes con la mezcla de asfalto en capas. Es importante compactar para asegurar una densidad uniforme.

Paso 4: Compactación de la Mezcla

- Compactación: Utilizar un compactador manual o mecánico para compactar cada capa de asfalto en el molde.

Paso 5: Enfriamiento y Extracción

- Enfriamiento: Dejar enfriar las probetas a temperatura ambiente durante al menos 24 horas.
- Extracción de probetas: Una vez enfriadas, retirar las probetas de los moldes con cuidado para evitar dañarlas.

Paso 6: Realización de Pruebas

- Almacenamiento: Almacenar las probetas en un lugar seco y seguro hasta que se realicen las pruebas correspondientes.
- Pruebas mecánicas: Realizar pruebas de resistencia, durabilidad y otras propiedades según las normativas aplicables o lo requerido.
- Registro y análisis: Registrar los resultados y compáralos con las especificaciones del proyecto para asegurar que el asfalto cumple con los estándares requeridos.

Tabla 41. *Dosificación de la Mezcla Asfáltica en frío en porcentajes.*

DATOS DE DISEÑO:

NÚMERO DE BRIQUETAS	1	2	3	4
Emulsión	10.50%	10.50%	10.50%	10.50%
Arena chancada	41%	40%	39%	38%
Arena natural	26%	26%	26%	26%
Filler	3%	3%	3%	3%
Aceite Residual	0%	1%	2%	3%
	100%	100%	100%	100%

Fuente: *Elaboración propia.*

Según la tabla 41, al usar 10.5 % de emulsión, obtendremos los siguientes datos.

Tabla 42. *Dosificación de la Mezcla Asfáltica en frío.*

NÚMERO DE BRIQUETAS	1	2	3	4
Piedra chancada	322.2	322.2	322.2	322.2
Arena chancada	440.3	429.6	418.9	408.1
Arena natural	279.2	279.2	279.2	279.2
Filler	32.22	32.22	32.22	32.22
Aceite residual	0	10.74	21.48	32.22
SUBTOTAL	1074	1074	1074	1074
Emulsión	126	126	126	126
TOTAL	1200	1200	1200	1200

Fuente: *Elaboración propia.*

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Densidad Seca de la Mezcla Asfáltica en Frío

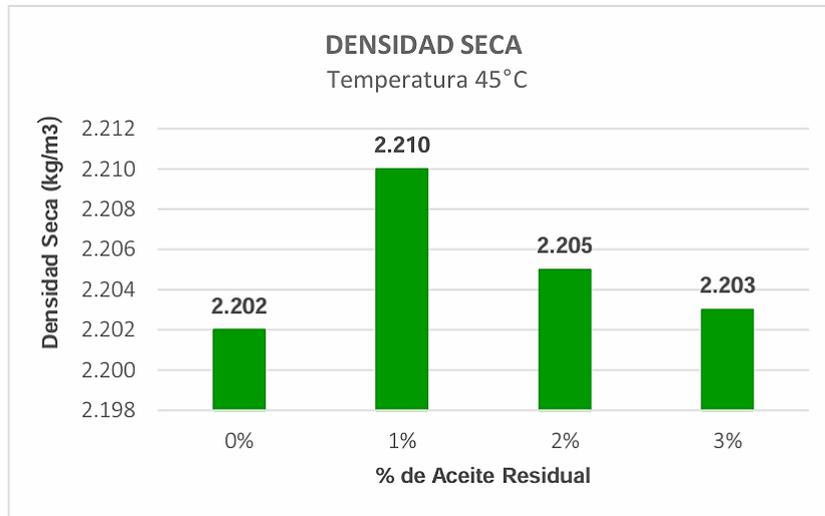


Figura 32. Densidad seca a los 45°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen, se observa que bajo una temperatura de 45°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz, se obtiene la densidad máxima de 2.210 siendo superior al patrón, lo que favorece su estabilidad estructural y reduce la cantidad de vacíos en la mezcla. Esta mejora sugiere una menor susceptibilidad a la infiltración de agua y un incremento en la resistencia mecánica, los cuales son factores clave para prolongar la vida útil del pavimento y optimizar su desempeño en condiciones de servicio.

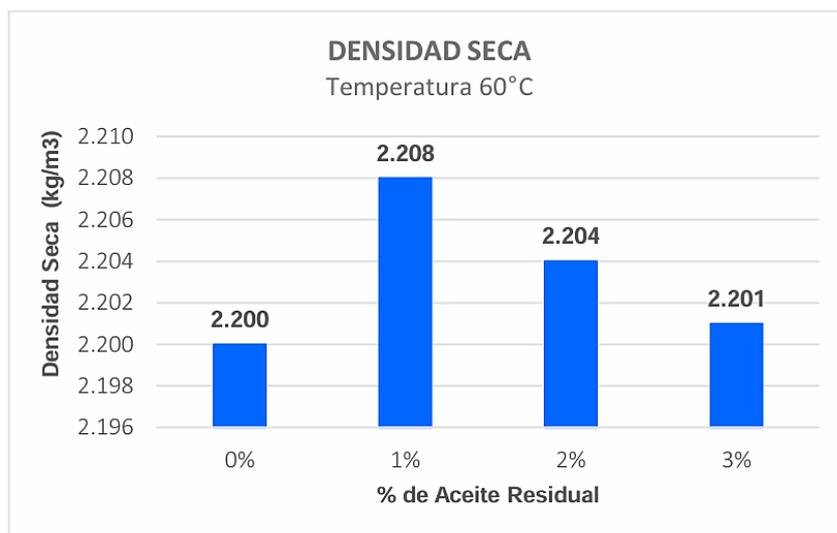


Figura 33. Densidad seca a los 60°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la figura 33, se observa que bajo una temperatura de 60°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene la máxima densidad seca de 2.208, por lo que se considera admitido.

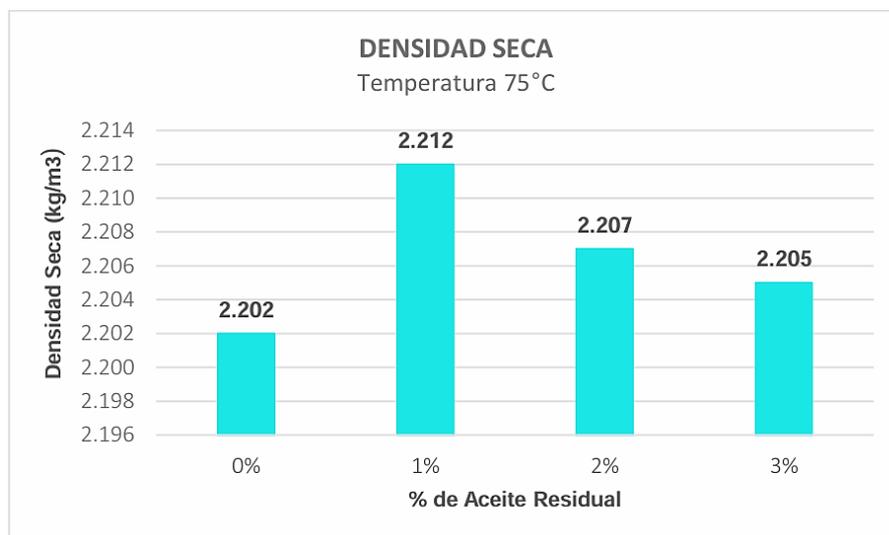


Figura 34. Densidad seca a los 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la figura 34 se observa que bajo una temperatura de 75°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene la máxima densidad seca de 2.212, por lo que se considera admitido.

Tabla 43. Resumen de los resultados de la densidad seca

T°	Dosificaciones			
	0%	1%	2%	3%
45°C	2.202	2.210	2.205	2.203
60°C	2.200	2.208	2.204	2.201
75°C	2.202	2.212	2.207	2.205

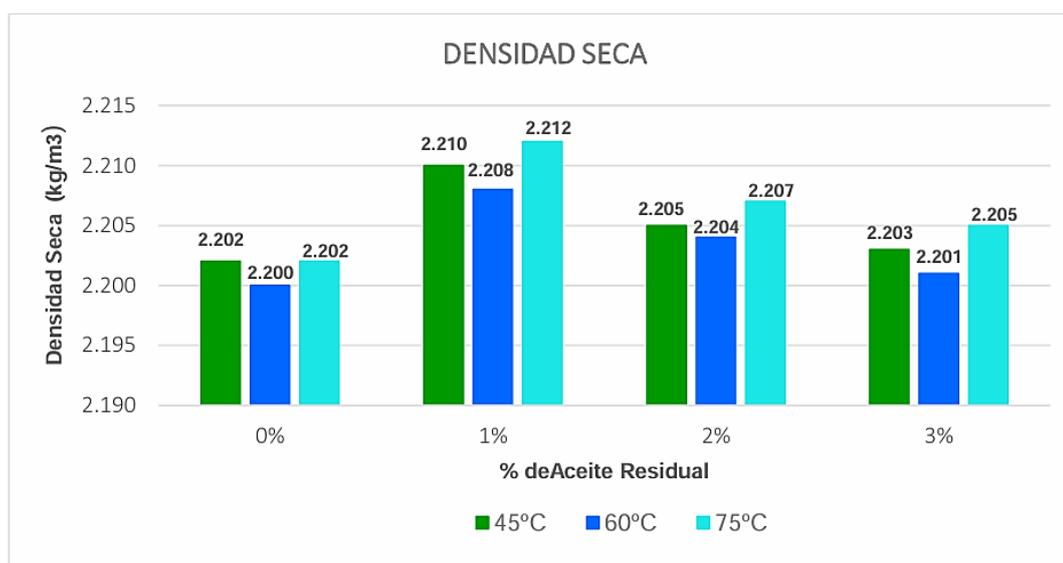


Figura 35. Densidades secas en temperaturas de 45°C, 60°C y 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen y tabla anterior se observa que, en promedio, al usar el 1 % de dosificación se obtienen buenas resistencias en más de una temperatura. Siendo esta la dosificación óptima en la densidad seca.

4.2. Estabilidad de la Mezcla Asfáltica en Frío

El proceso inició con la preparación de las mezclas, donde los agregados y el asfalto se dosificaron según las proporciones definidas en el diseño experimental. Ambos materiales se calentaron a la temperatura óptima para asegurar una distribución uniforme del asfalto sobre los agregados. Una vez mezclados, se vertieron cuidadosamente en moldes cilíndricos metálicos para evitar cualquier segregación.

A continuación, las probetas fueron compactadas utilizando un martillo mecánico que aplicó golpes uniformes en ambos lados de cada muestra, simulando las condiciones de densificación que experimenta el pavimento en campo. Luego, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se extrajeron de los moldes con ayuda de un extractor hidráulico, verificando que estuvieran libres de fisuras o imperfecciones.

El siguiente paso fue someter las probetas a la prueba de estabilidad Marshall. Para ello, se colocaron en una prensa especializada que aplicó una carga axial de manera constante a una velocidad controlada de deformación de 50.8 mm/min. Durante este ensayo, se registró la carga máxima soportada por cada probeta antes de que fallara estructuralmente. Este valor, conocido como estabilidad, reflejó la resistencia de la mezcla a las cargas vehiculares y se asoció

directamente con la calidad de los materiales utilizados, la dosificación del asfalto y el grado de compactación alcanzado.

El análisis de los resultados permitió identificar aquellas mezclas que presentaron una mayor estabilidad, indicando que eran más resistentes y adecuadas para soportar condiciones de tráfico intenso. Este procedimiento, cuidadosamente desarrollado, brindó información esencial para el diseño y optimización de pavimentos asfálticos duraderos y funcionales

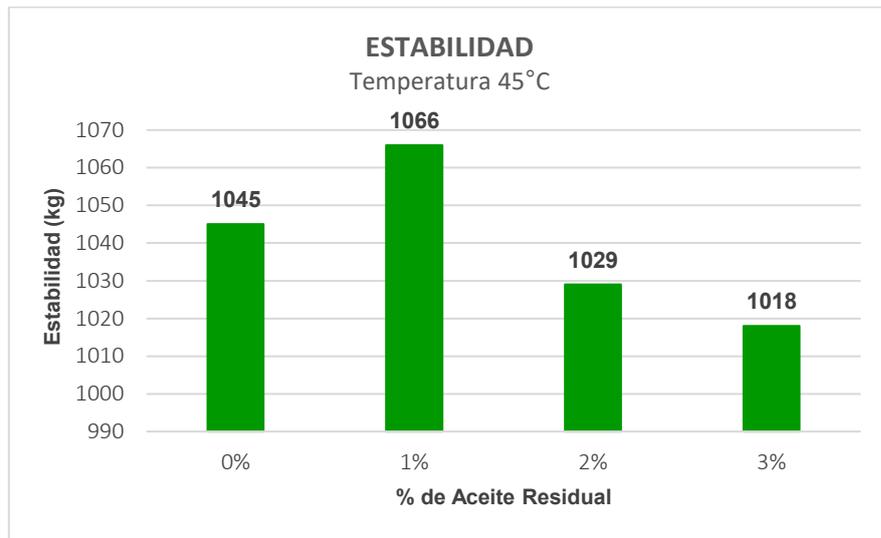


Figura 36. Estabilidad a los 45°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen anterior, se observa que bajo una temperatura de 45°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene 1066, siendo la mayor estabilidad superando la mezcla patrón.

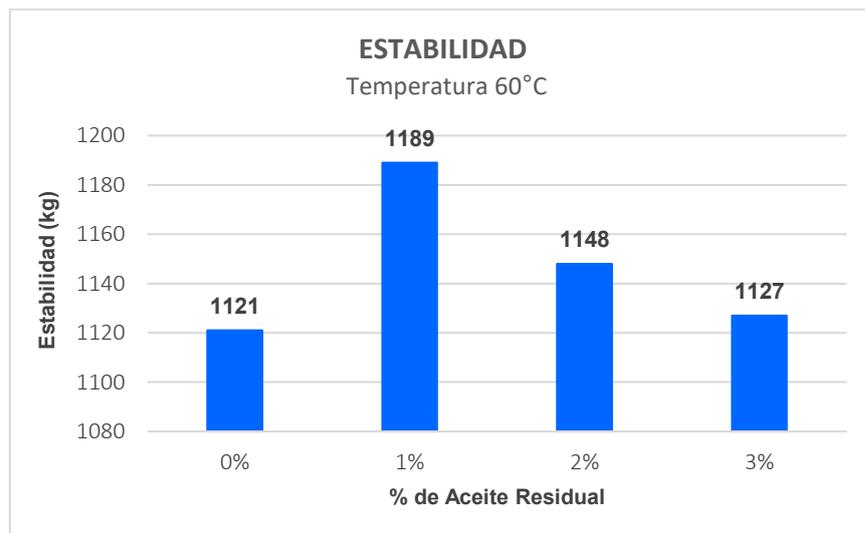


Figura 37. Estabilidad a los 60°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen anterior, se observa que bajo una temperatura de 60°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene 1189, siendo esta la mayor estabilidad superando la mezcla patrón en un 6 %.

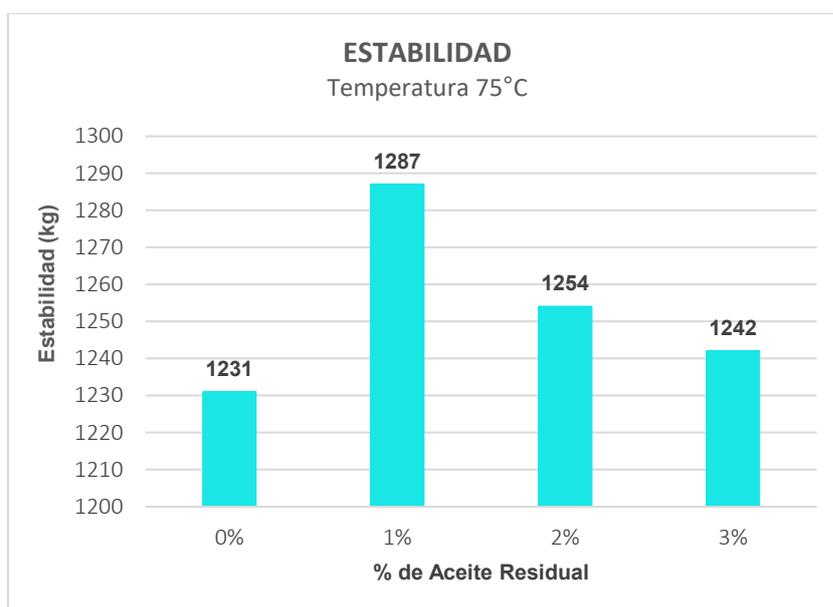


Figura 38. Estabilidad a los 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la figura 38, se observa que bajo una temperatura de 75°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene 1287, siendo esta la mayor estabilidad superando la mezcla patrón en un 4 %.

Tabla 44. Resumen de los resultados de la estabilidad

T°	Dosificaciones			
	0%	1%	2%	3%
45°C	1045	1066	1029	1018
60°C	1121	1189	1148	1127
75°C	1231	1287	1254	1242

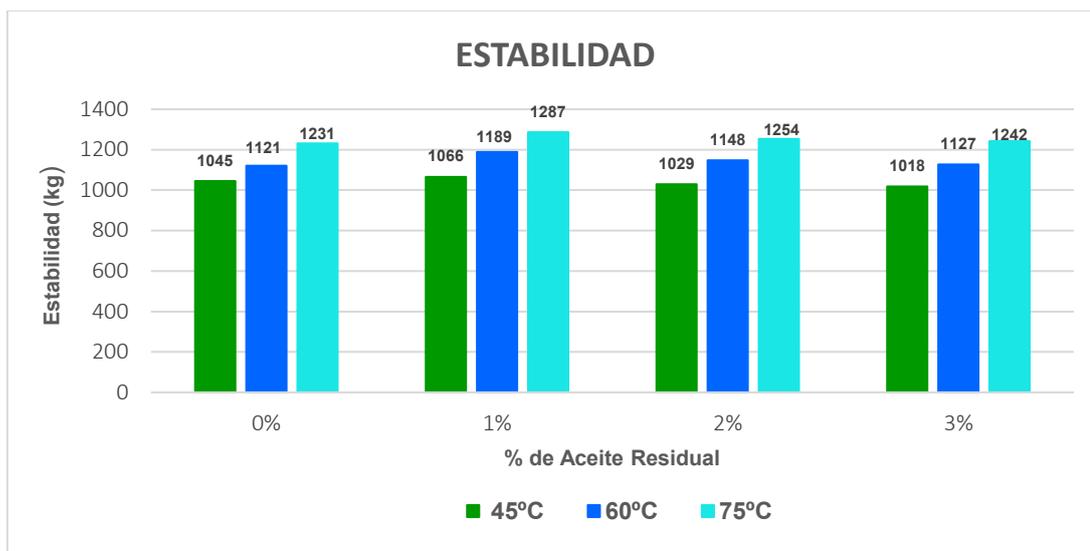


Figura 39. Estabilidad en temperaturas de 45°C, 60°C y 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%

En la imagen y tabla anterior, se observa que en promedio, al usar el 1 % de dosificación se obtienen buenas resistencias en más de una temperatura. Siendo esta la dosificación óptima en el ensayo de estabilidad.

4.3. Porcentaje de Vacíos de la Mezcla Asfáltica en Frío

El procedimiento del ensayo Marshall comienza con la preparación de probetas cilíndricas de mezcla asfáltica, las cuales se compactan utilizando un martillo de impacto bajo condiciones específicas. Luego, se mide la densidad aparente de las probetas y se calcula la densidad máxima teórica a través de ensayos complementarios.

Posteriormente, las probetas son sometidas a una carga axial en la prensa Marshall, registrándose la carga máxima soportada, conocida como estabilidad, y la deformación correspondiente, llamada flujo. Finalmente, se calcula el porcentaje de vacíos, garantizando así que la mezcla cumpla con los parámetros necesarios para un pavimento resistente y duradero.

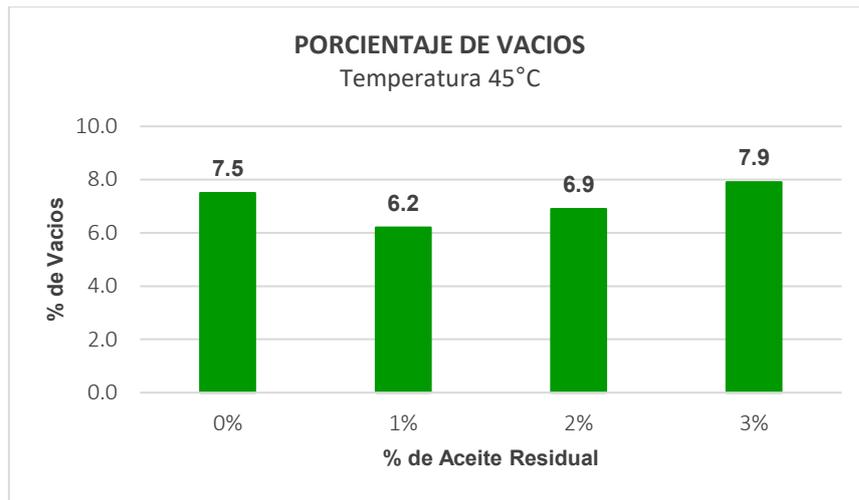


Figura 40. Porcentaje de vacíos a los 45°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen anterior, se observa que bajo una temperatura de 45°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene 6.2 %, siendo el menor porcentaje de vacíos.

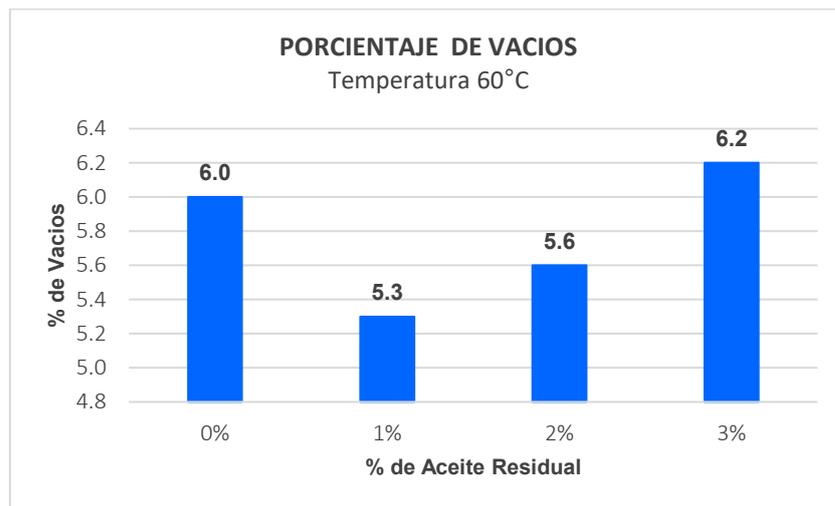


Figura 41. Porcentaje de vacíos a los 60°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen anterior, se observa que bajo una temperatura de 60°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene 5.3 %, siendo este el menor porcentaje de vacíos.

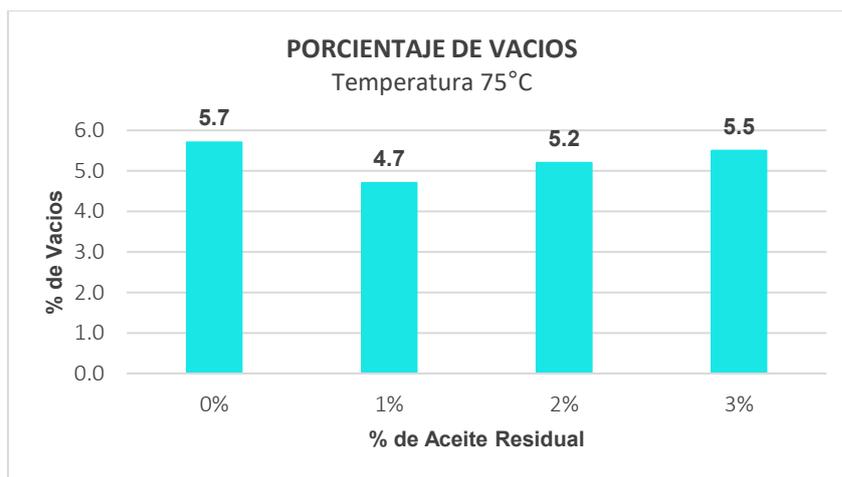


Figura 42. Porcentaje de vacíos a los 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen anterior, se observa que bajo una temperatura de 75°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene 4.7 %, siendo este el menor porcentaje de vacíos.

Tabla 45. Resumen de los resultados del porcentaje de vacíos

T°	Dosificaciones			
	0%	1%	2%	3%
45°C	7.5	6.2	6.9	7.9
60°C	6.0	5.3	5.6	6.2
75°C	5.7	4.7	5.2	5.5

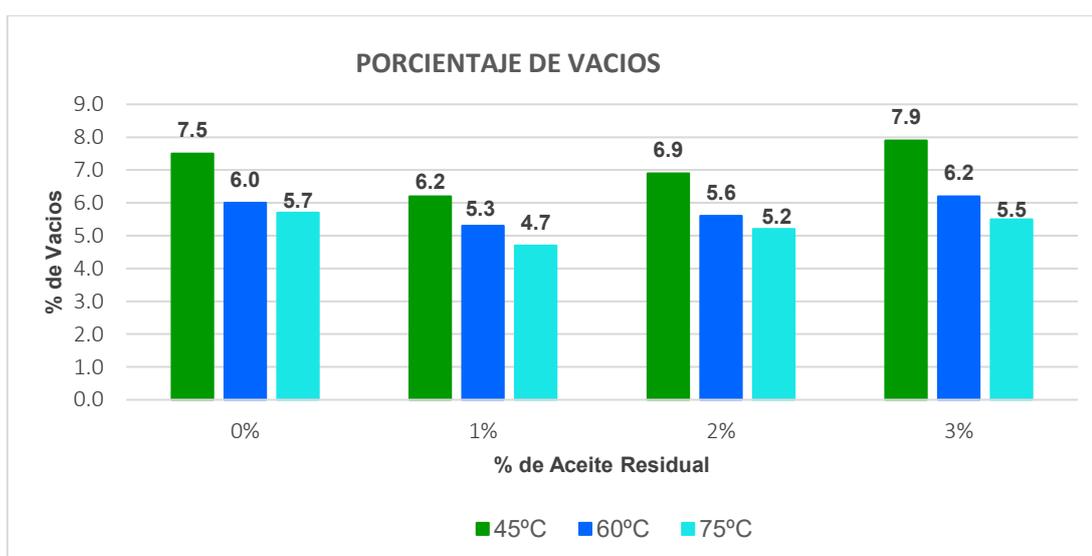


Figura 43. Porcentaje de vacíos en temperaturas de 45°C, 60°C y 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen y tabla anterior, se observa que en promedio al usar el 1 % de dosificación se logra obtener buenas resistencias en todas las temperaturas. Siendo esta la dosificación óptima en el ensayo del porcentaje de vacíos.

En conclusión, lograr una máxima densidad seca adecuada equilibra el porcentaje de vacíos y optimiza la estabilidad, asegurando una mezcla durable y resistente al tráfico.

4.4. Comparación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica patrón y modificada

4.4.1. Resistencia a la Compresión de la mezcla asfáltica en frío

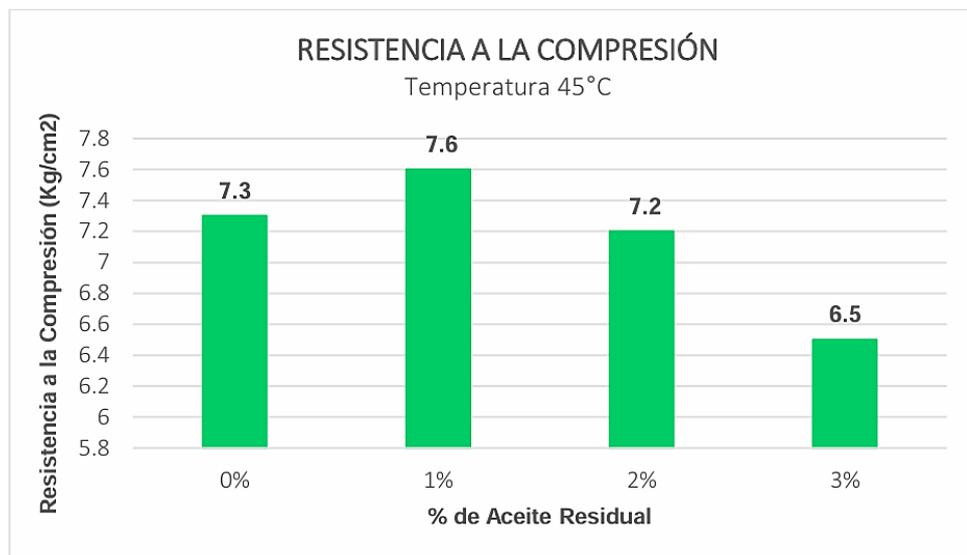


Figura 44. Resistencia a la compresión a los 45°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la figura, se observa que bajo una temperatura de 45°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz, se obtiene una mayor resistencia a la compresión superando la mezcla patrón en un 4 %.

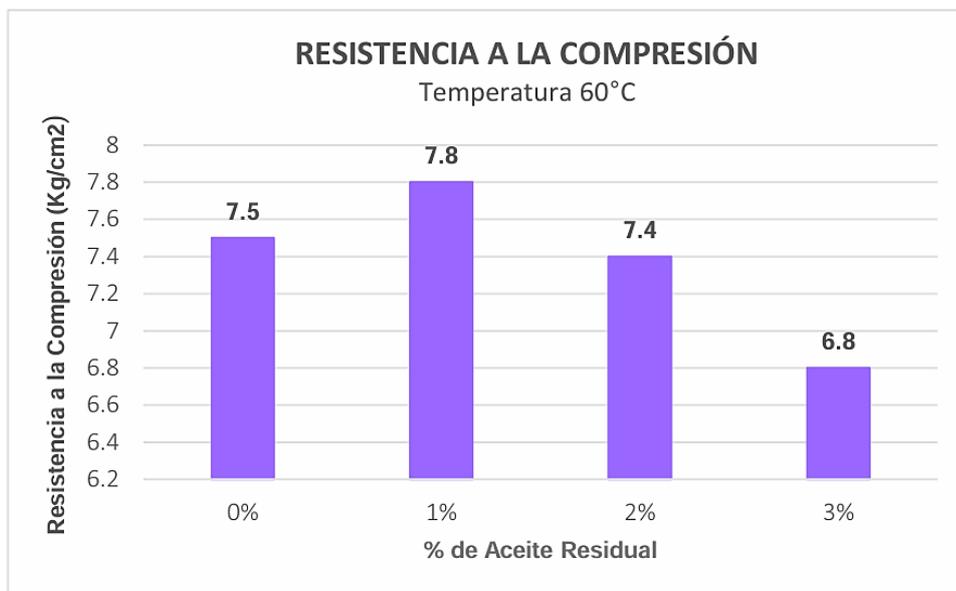


Figura 45. Resistencia a la compresión a los 60°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen, se observa que bajo una temperatura de 60°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene una mayor resistencia a la compresión superando la mezcla patrón en un 4 %.

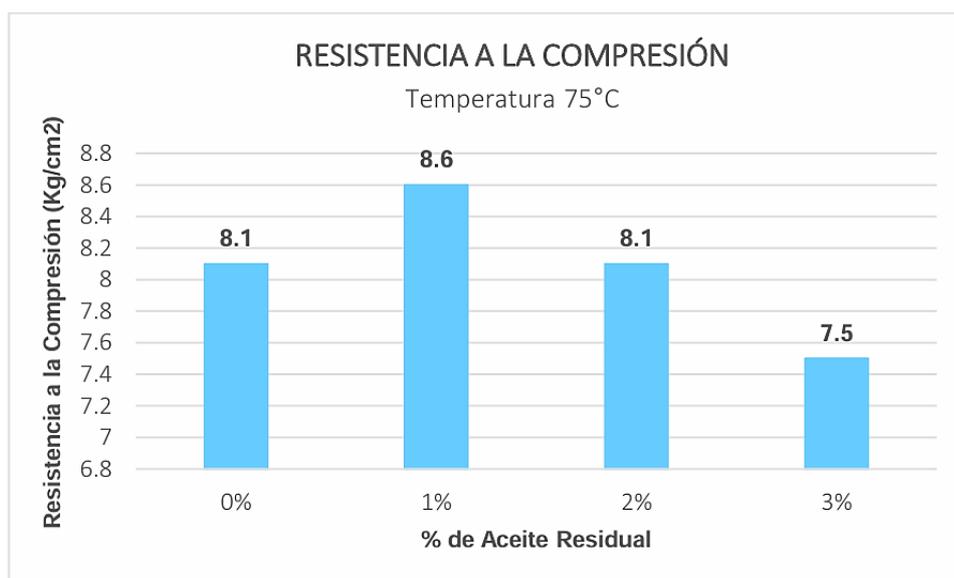


Figura 46. Resistencia a la compresión a los 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen anterior, se observa que bajo una temperatura de 75°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz se obtiene una mayor resistencia a la compresión superando la mezcla patrón en un 6 %.

Tabla 46. Resumen de los resultados de la resistencia a la compresión.

T°	Dosificaciones			
	0%	1%	2%	3%
45°C	7.30	7.60	7.20	6.50
60°C	7.50	7.80	7.40	6.80
75°C	8.10	8.60	8.10	7.50

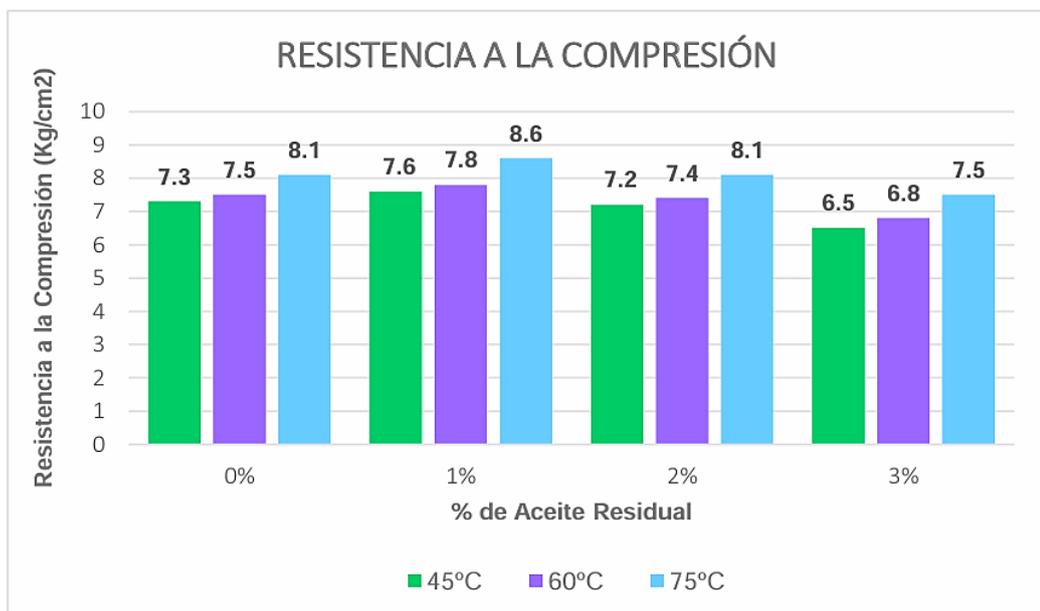


Figura 47. Resistencia a la compresión en temperaturas de 45°C, 60°C y 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen y tabla, se observa que en promedio al usar el 1 % de dosificación, se logran obtener buenas resistencias a la compresión en todas las temperaturas. Siendo esta la dosificación óptima del ensayo de resistencia a la compresión.

4.4.2. Resistencia a la Tracción de la mezcla asfáltica en frío

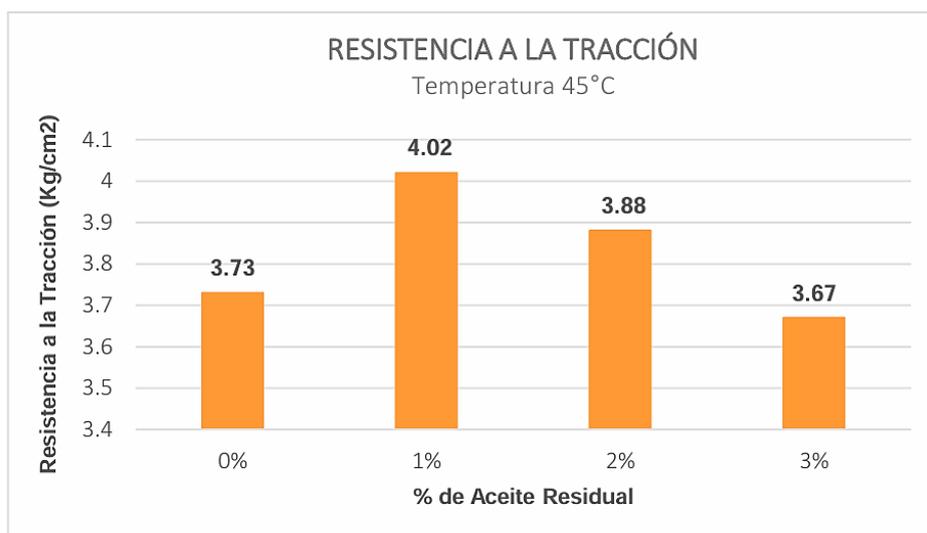


Figura 48. Resistencia a la tracción a los 45°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen, se observa que bajo una temperatura de 45°C al usar el 1 % de aceite residual automotriz, se obtiene una mayor resistencia a la tracción superando la mezcla patrón en un 7.2 %.

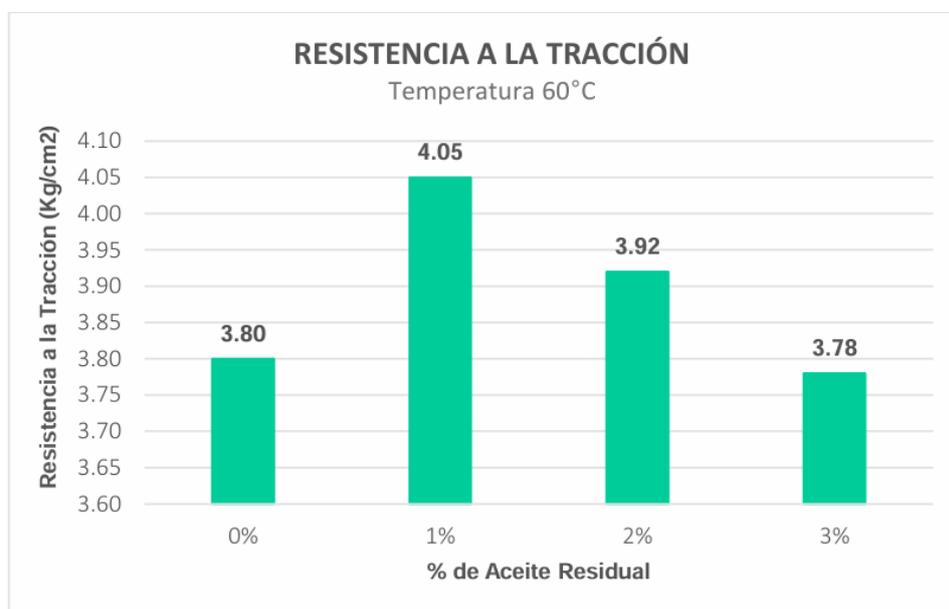


Figura 49. Resistencia a la tracción a los 60°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen, se observa que bajo una temperatura de 60°C, al usar el 1 % de aceite residual automotriz, se obtiene una mayor resistencia a la tracción superando la mezcla patrón en un 6.2 %.

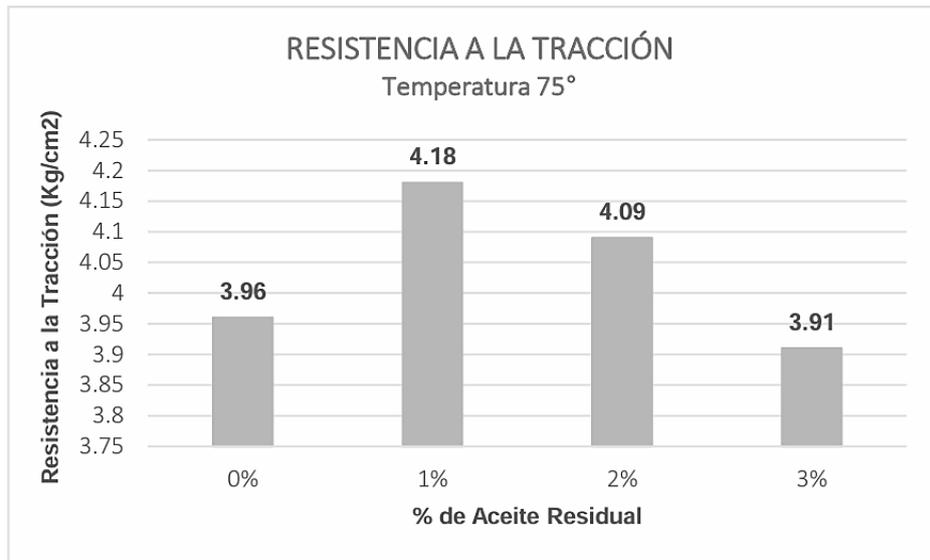


Figura 50. Resistencia a la tracción a los 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen anterior, se observa que bajo una temperatura de 75°C, al usar el 1 % de aceite residual automotriz, se obtiene una mayor resistencia a la tracción superando la mezcla patrón en un 5.3 %.

Tabla 47. Resumen de los resultados de la resistencia a la tracción.

T °	Dosificaciones			
	0%	1%	2%	3%
45°C	3.73	4.02	3.88	3.67
60°C	3.80	4.05	3.92	3.78
75°C	3.96	4.18	4.09	3.91

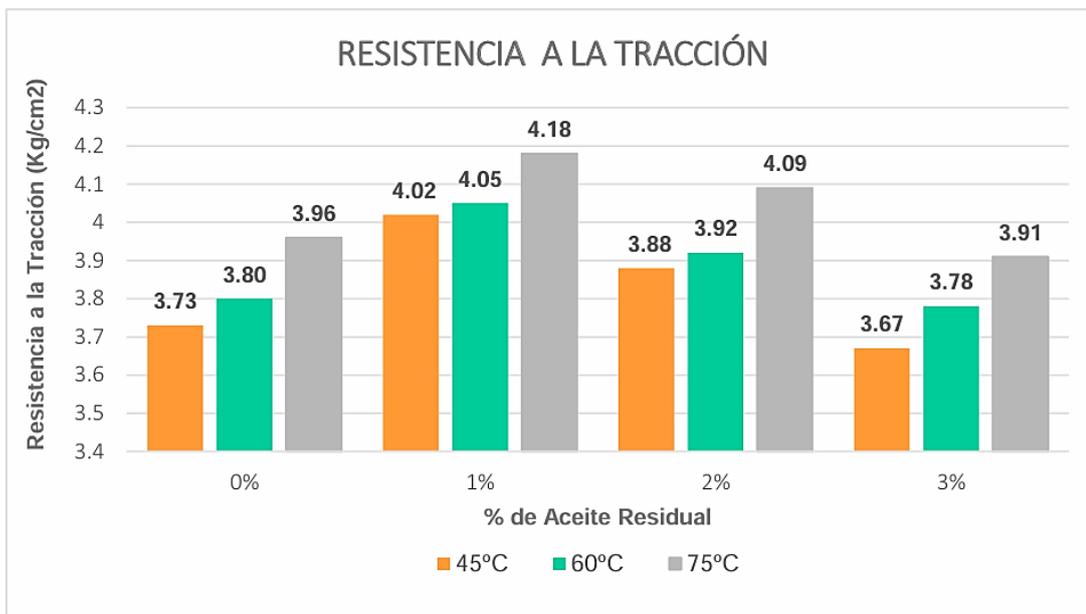


Figura 51. Resistencia a la tracción en temperaturas de 45°C, 60°C y 75°C usando las dosificaciones del 1%, 2% y 3%.

En la imagen y tabla, se observa que en promedio, al usar el 1 % de dosificación se logran obtener buenas resistencias a la tracción en todas las temperaturas. Siendo esta la dosificación optima del ensayo.

4.5. Comprobación de Hipótesis

HE1: La máxima densidad seca al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica es óptima.

HO: La máxima densidad seca al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica no es óptima.

Tabla 48. *Correlación de los valores de la máxima densidad seca.*

			Patrón	Modificada
Rho de Spearman	PATRÓN	Coefficiente de correlación	1,000	,750
		Sig. (bilateral)	.	,011
		N	48	48
	MODIFICADA	Coefficiente de correlación	-,655	1,000
		Sig. (bilateral)	,005	.
		N	48	48

Dado que el p-valor obtenido es .000, menor a 0.05, se acepta la hipótesis de investigación. Esto indica que la máxima densidad seca alcanzada al incorporar aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica es óptima. Además, se observa un coeficiente de correlación de 0,011.

HE2: La estabilidad al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica es superior en la estándar.

HO: La estabilidad al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica no es superior en la estándar.

Tabla 49. *Correlación de los valores obtenidos de la estabilidad.*

			Patrón	Modificada
Rho de Spearman	PATRÓN	Coefficiente de correlación	1,000	,115
		Sig. (bilateral)	.	,008
		N	48	48
	MODIFICADA	Coefficiente de correlación	-,110	1,000
		Sig. (bilateral)	,002	.
		N	48	48

Se tiene que el p-valor es de $.000 < 0.05$, por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación. A partir de ello se afirma que la estabilidad al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica es superior en la estándar. Asimismo, presenta un coeficiente de correlación de 0.115.

HE3: El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica es superior usando el aceite reciclado automotriz.

H0: El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica no es superior usando el aceite reciclado automotriz.

Tabla 50. *Correlación de los valores obtenidos del porcentaje de vacíos.*

			Patrón	Modificada
Rho de Spearman	PATRÓN	Coefficiente de correlación	1,000	,432
		Sig. (bilateral)	.	,005
		N	48	48
	MODIFICADA	Coefficiente de correlación	,432	1,000
		Sig. (bilateral)	,005	.
		N	48	48

Se tiene que el p-valor es de $,000 < 0,05$. Por este motivo, se acepta la hipótesis de investigación. A partir de ello se afirma que el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica es superior usando el aceite reciclado automotriz. Además, presenta un coeficiente de correlación de 0,432.

HE4: La mezcla asfáltica modificada muestra mejoras al compararse con la muestra patrón.

H0: La mezcla asfáltica modificada no muestra mejoras al compararse con la muestra patrón.

Tabla 51. *Correlación de los valores obtenidos de la resistencia a la compresión.*

			Patrón	Modificada
Rho de Spearman	PATRÓN	Coefficiente de correlación	1,000	,455
		Sig. (bilateral)	.	,005
		N	48	48
	MODIFICADA	Coefficiente de correlación	-,655	1,000
		Sig. (bilateral)	,005	.
		N	48	48

Se tiene que el p-valor es de ,000 < 0,05. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación. A partir de ello se afirma que la mezcla asfáltica modificada muestra mejoras al compararse con la muestra patrón.

HE5: La dosificación óptima de aceite residual tiene una variación significativa en relación a la muestra estándar.

HO: La dosificación óptima de aceite residual no tiene una variación significativa en relación a la muestra estándar.

Tabla 52. *Correlación de los valores obtenidos con la dosificación optima y dosificación patrón.*

			X	Y
Rho de Spearman	X	Coeficiente de correlación	1,000	,120
		Sig. (bilateral)	.	,015
	N		48	48
	Y	Coeficiente de correlación	-,110	1,000
Sig. (bilateral)		,002	.	
N		48	48	

Se tiene que el p-valor es de ,000 < 0,05. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación. A partir de ello, se afirma que la dosificación óptima de aceite residual tiene una variación significativa en relación a la muestra estándar. Esta presenta un coeficiente de correlación de 0,120.

4.7. DISCUSIÓN

En cuanto a la densidad máxima seca, al usar diferentes porcentajes de aceite residual automotriz, se observó que la inclusión de un 1 %, 2 % y 3 % de aceite en la mezcla asfáltica en frío produjo variaciones significativas en la densidad. La densidad máxima seca alcanzó valores óptimos con la inclusión del 1 % de aceite, mejorando en comparación con la mezcla asfáltica patrón. Este hallazgo es consistente con estudios previos donde el uso de aditivos como el aceite residual ha mostrado mejoras en las propiedades físicas de los materiales de pavimentación (Alarcón et al., 2020; Jalamocha, 2021).

Al evaluar la estabilidad de la mezcla asfáltica, se determinó que la adición del aceite residual automotriz incrementó la estabilidad de la mezcla, siendo el 1 % de aceite el porcentaje óptimo. La estabilidad de la mezcla mejoró en un 4 % en comparación con la mezcla patrón, lo que indica una resistencia mejorada ante las cargas de tráfico. Este resultado es congruente con la investigación de Baloa et al. (2019), quienes encontraron que los residuos de aceite automotriz pueden mejorar significativamente las propiedades mecánicas de los materiales de construcción.

Respecto al porcentaje de vacíos, la inclusión del aceite residual también tuvo un impacto positivo. La mezcla con 1 % de aceite presentó un porcentaje de vacíos ideal para asegurar la durabilidad del pavimento, manteniéndose dentro de los límites recomendados por normas internacionales. Estas observaciones coinciden con las conclusiones de estudios sobre la estabilización de suelos y pavimentos usando materiales residuales (Del Castillo & Orobio, 2020; Gavino, 2022).

La comparación de las propiedades mecánicas entre la mezcla asfáltica patrón y la modificada evidenció mejoras significativas en la resistencia y durabilidad de la mezcla modificada. La mezcla asfáltica con 1 % de aceite residual mostró un aumento del 5.3 % en la resistencia a la tracción indirecta y un incremento del 6 % en la resistencia a la compresión diametral, lo que sugiere una mejor capacidad de soporte de carga y resistencia a las deformaciones plásticas. Estos resultados respaldan los hallazgos de investigaciones similares en las que el uso de aditivos como aceites residuales ha mostrado mejoras en las propiedades mecánicas de los pavimentos (Camacho, 2015; Daniel & Crispín, 2019).

La dosificación óptima de la mezcla asfáltica se determinó en el 1% de aceite residual automotriz. Esta dosificación no solo mejoró las propiedades mecánicas y físicas del pavimento, sino que también mostró ser una solución viable y económica para el mejoramiento de carreteras en regiones con condiciones similares a las de Puno. Esta dosificación óptima es

consistente con las recomendaciones de estudios sobre la mejora de mezclas asfálticas mediante aditivos (Huamán & Camacho, 2022).

- Fortalezas y debilidades de la metodología empleada:

Entre las fortalezas del estudio, se destaca el enfoque integral y sistemático en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con aceite residual automotriz. La utilización de diferentes porcentajes de aceite permitió identificar la dosificación óptima, proporcionando datos robustos y comparables con investigaciones previas. Además, el uso de metodologías reconocidas, como el ensayo Marshall, aportó rigor y validez a los resultados obtenidos (Emesa, 2022).

Sin embargo, una debilidad de la metodología radica en la limitación geográfica del estudio, ya que los resultados obtenidos pueden no ser directamente extrapolables a otras regiones con condiciones climáticas y de tráfico diferentes.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La evaluación mostró que la inclusión del aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica impacta positivamente en la densidad máxima seca. El 1 % de aceite residual resultó ser la proporción óptima, mejorando la densidad comparada con la mezcla asfáltica patrón.
- Los cálculos indicaron que la estabilidad de la mezcla asfáltica en frío se incrementa con la adición del aceite residual automotriz. La estabilidad óptima se alcanzó con un 1 % de aceite, mejorando en un 4 % en comparación con la mezcla patrón.
- El porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica también mejoró con la inclusión del aceite residual. La mezcla con un 1 % de aceite presentó un porcentaje de vacíos dentro de los límites recomendados, asegurando la durabilidad del pavimento.
- La comparación reveló mejoras significativas en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con aceite residual automotriz. La resistencia a la tracción indirecta y la resistencia a la compresión diametral aumentaron en un 5.3 % y 6 %, respectivamente, con la adición del 1 % de aceite.
- Se concluyó que la dosificación óptima de aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica es del 1 %. Esta proporción mejoró significativamente las propiedades físicas y mecánicas del pavimento, ofreciendo una solución viable y sostenible para la mejora de carreteras.
- Se ha determinado que las dosificaciones del 1 %, 2 % y 3 % de aceite residual automotriz fueron seleccionadas en base del análisis de los antecedentes y validada mediante un gráfico de dispersión como criterio técnico, identificando su influencia en la resistencia a la compresión.

5.2. Recomendaciones

- Se propone adoptar como estándar la mezcla asfáltica modificada con un 1 % de aceite residual automotriz para futuras obras de pavimentación en la carretera evaluada, dado que esta dosificación ha evidenciado mejoras sustanciales en cuanto a densidad, estabilidad y comportamiento mecánico del pavimento, lo que se traduce en mayor durabilidad y resistencia ante el tránsito vehicular.
- Es indispensable implementar un sistema de monitoreo permanente que permita evaluar el desempeño del pavimento a lo largo del tiempo, incluyendo inspecciones visuales regulares y ensayos de campo que verifiquen la conservación de las propiedades mejoradas tras la aplicación de la mezcla modificada.
- Se recomienda profundizar la investigación mediante estudios complementarios que analicen los efectos a largo plazo del uso de aceite residual automotriz, abordando aspectos como la resistencia a la fatiga, el envejecimiento frente a condiciones climáticas y la sostenibilidad ambiental del método aplicado.
- Asimismo, se considera esencial capacitar al personal técnico encargado de la aplicación y mantenimiento del pavimento, así como promover la difusión de los beneficios técnicos y económicos de esta alternativa entre los responsables de las decisiones en materia de infraestructura vial.
- Se sugiere realizar un diseño estructural del pavimento que considere las resistencias óptimas y las normativas vigentes, con el fin de estimar con precisión su vida útil y comparar su desempeño a largo plazo frente a los métodos tradicionales.
- Finalmente, se alienta a fortalecer la colaboración entre instituciones gubernamentales, académicas y del sector privado, con el objetivo de fomentar la investigación e innovación tecnológica en pavimentación, promoviendo así prácticas sostenibles y de alto rendimiento en la gestión de la infraestructura vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÓN, J., JIMÉNEZ, M. y BENÍTEZ, R. Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Revista Ingeniería de Construcción*, 2020, vol. 35, n° 1. DOI 10.4067/s071850732020000100005.

ÁLZATE, Z. Sistema de clasificación de severidad de daños en pavimentos flexibles para determinar posibles intervenciones [en línea]. Envigado: Universidad EIA, 2019. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/232126784.pdf>

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO guide for design of pavement structures [en línea]. Washington: AASHTO, 1993. 2 vol. Disponible en: <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>

BALOA, T., ARELLANO, C., DE ABREU, J. y AGUILA, I. Aceite residual automotriz como aditivo en mezclas de hormigón: Si es factible su uso. *Revista Matéria* [en línea], 2019, vol. 24, n° 2. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/CSTNW5N5CNPWSnZ57LLZNdQ/?lang=es>

BERNUY, K. y RAMOS, L. Evaluación del pavimento flexible de la carretera a Samanco, entre Óvalo Samanco hasta Samanco, Santa Ancash – 2019, propuesta de mejora [en línea]. Trujillo: Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en: <https://cutt.ly/wSESy5I>

CAMACHO, J. Diseño de pavimento asfáltico por el método AASHTO-93 empleando el software DISAASHTO-93 [en línea]. 2015. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/143451539.pdf>

CAMARGO-PÉREZ, N. R. y HIGUERA, C. H. Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2017, vol. 27, n° 1, pp. 91-109. DOI 10.18359/rcin.1907.

COMEX PERÚ. La pavimentación aumentó en 194.4 km en 2020, el menor incremento en los últimos 10 años [en línea]. Lima: ComexPerú, 22 octubre 2021. Disponible en: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/la-pavimentacion-aumento-en-1944-km-en-2020-el-menor-incremento-en-los-ultimos-10-anos>

DANIEL, B. y CRISPIN, G. Análisis de pavimento flexible reforzado con fibras de acero 4D mediante la metodología de desgastes HDM-IV, Trujillo, La Libertad, Perú 2018. Trujillo: Universidad Privada de Trujillo, 2019.

DE LA CRUZ VEGA, S. A., IBÁÑEZ CCOAPAZA, C. E. y COAQUIRA CUEVA, D. Y. Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 2022, vol. 24, n° 43. ISSN 1409-4045. DOI 10.15517/iv.v24i43.48563.

DEL CASTILLO, R. D. y OROBIO, A. Exploratory research on the effect of used engine oil on a subgrade fine soil. *Informes de la Construcción*, 2020, vol. 72, n° 558. ISSN 1988-3234. DOI 10.3989/ic.69016.

DEL POZO, E. Diseño de Pavimento Flexible Empleando Fibras de Acero como mejora a la Resistencia en Avenida Padre Fermín Toledano, Apurímac 2022. Lima: Universidad César Vallejo, 2022.

DELGADO, J. Diseño de una Estructura de Pavimento Flexible Mediante el Método AASHTO-93, del Tramo K76+450 al K 77+000 de Vía Las Vegas-Chorreras Localidad de Sumapaz [en línea]. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2023. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/12738>

DIONICIO ORTEGA, A. B. Diseño de pavimento flexible mediante metodología AASHTO 93 para mejoramiento de serviciabilidad de carretera vecinal en el departamento de Puno [en línea]. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2022. Disponible en: <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5989>

EMESA. Ensayo Marshall: qué es y qué relación tiene con las carreteras [en línea]. Madrid: EMESA, 2022. Disponible en: <https://www.emesa-m30.es/ensayo-marshall/>

GARZON, A. y HERNÁNDEZ, L. Cartilla-guía ilustrativa del proceso constructivo de un pavimento flexible para bajos volúmenes de tránsito [en línea]. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2019. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5711/CARTILLA.pdf?sequence=2>

GAVINO, Hugo. Resistencia mecánica de mezclas asfálticas en frío con adición de poliestireno expandido, Huancayo, Junín, 2021. Tesis (Ingeniero Civil). 2022.

GONZÁLEZ GUZMÁN, D., MELO HERNÁNDEZ, O. y RODRÍGUEZ PERALTA, J. Comportamiento de mezclas asfálticas con pavimento reciclado y aceite usado de motor como rejuvenecedor [en línea]. Ibagué: Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/8329>

GONZALES, Oscar y MANAY, Danny. Diseño de pavimento flexible aplicando el método AASHTO 93 para mejorar la transitabilidad en el centro poblado Ramiro Prialé, distrito de José

Leonardo Ortiz provincia de Chiclayo - departamento de Lambayeque. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad San Martín de Porres, 2020.

HERNÁN, S. T., ECHEVERRÍA G., G. y THENOUX Z., G. Estabilización química de suelos: aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. Revista de Ingeniería de Construcción [en línea], 1989, n° 6. ISSN 0718-5073. Disponible en: <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/323>

HERNÁNDEZ, R. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. 6ª ed. México: McGraw-Hill, 2018.

HUAMÁN, J. y CAMACHO, D. Uso del aceite residual de motor diésel para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante de un pavimento. Jaén: Universidad Nacional de Jaén, 2022.

HUMPIRI, C. Mejoramiento del pavimento flexible aplicando aditivo AGGREBIND para estabilizar suelos en la calle los eucaliptos, en el distrito de Chaclacayo-Lima-2018. Lima: Universidad Privada TELESUP, 2018.

IRIGOYEN, J. L. y SIMO, L. F. Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación [en línea]. Santo Domingo: MOPC, 2016. Disponible en: <https://www.mopc.gov.do/media/2335/sistema-identificación-fallas.pdf>

JALANOCA, J. A. Mejoramiento de la subrasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021 [en línea]. Trujillo: Universidad César Vallejo, 2021. Disponible en: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LAUPA CÁRDENAS, A. Aplicación de aceite usado de vehículos para mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica en la Av. Naranjal, Lima 2021 [en línea]. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Privada del Norte, 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/81645>

MANCHENO, Mateo y SALAZAR, Brayan. Diseño de hormigón permeable de alta resistencia, con adición de aditivo espumante y perlas de poliestireno expandido, para la aplicación en pavimentos. Tesis (Ingeniero Civil). 2021.

MARTÍNEZ, Edwin. Desempeño de las propiedades físicas – mecánicas del concreto, utilizando agregado de concreto reciclado, Lambayeque 2020. Tesis (Ingeniero Civil). 2020.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES. Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación (Catálogo de fallas) [en línea]. Santo Domingo: Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990. Disponible en: <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificaci%C3%B3n-fallas.pdf>

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Acarreo. En: Glosario de términos de uso frecuente en los proyectos de infraestructura vial [en línea]. Lima: MTC, 2018. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4980603/Glosario%20de%20T%C3%A9rminos%20de%20Uso%20Frecuente%20en%20los%20Proyectos%20de%20Infraestructura%20Vial.pdf>

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma Técnica de Edificación CE.010: Pavimentos Urbanos [en línea]. Lima: MVCS, 2010. Disponible en: https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Pavimentos_Urbanos.pdf

MTC. Suelos geología, geotecnia y pavimentos. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

NTP 400.011. Agregados. Definición y clasificación. Lima: INDECOPI, 2008.

OFICINA DE DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS Y PUENTES. Anuario de aforos de tráfico 2017 [en línea]. Lima: MTC, 2017. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/423046116/Anuario-de-Aforos-de-Trafico-2017>

PAUCAR, E. Evaluación de pavimentos flexibles y rígidos aplicando las metodologías de inspección visual de zonas y rutas en riesgo e índice de condición del pavimento para el mantenimiento vial, caso de la av. Floral y jr. Carabaya, Puno. Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2019.

PERCY FLORES. Estabilización de suelo con material bituminoso y químicos [en línea]. 2022. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/18159934/>

PROVIAS DESCENTRALIZADO. 2.2. Estudio de tráfico [en línea]. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2018. Disponible en: http://proviasdes.gob.pe/arch_ProcSelecc/Archivos/CI-28-2018-MTC21-LPN/2.2.%20ESTUDIO%20DE%20TRAFICO.pdf

RAMÍREZ, L. Sistema de Clasificación de Severidad de Daños en Pavimentos Flexibles Para Determinar Posibles Intervenciones. Envigado: Universidad EIA, 2019. 103 p.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Diccionario de la lengua española [en línea]. 23ª ed. Madrid: RAE. Disponible en: <https://dle.rae.es/tipo>

SÁENZ, K. Diseño de la estructura de pavimento flexible aplicando el método AASHTO 93 para la vía aeropuerto El Edén - Club Campestre – Armenia en el departamento del Quindío en el k 2+000 al k 6+100. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2019.

SANTA CRUZ, P. U. Análisis de nuevas mezclas asfálticas en caliente utilizando material asfáltico reciclado de la Av. Andrés Avelino Cáceres - Provincia de Concepción 2020 [en línea]. Huancayo: Universidad Continental, 2021. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9328>

SIGAUS. Cifras de gestión en los aceites usados [en línea]. Madrid: SIGAUS, 2020. Disponible en: <https://www.sigaus.es/>

SOLMINIHAC H., ECHEVERRÍA G. y THENOUX G. Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimento [en línea]. Santiago: Universidad Católica de Chile, 1990. Disponible en: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/10036>

UNIFORT. Pavimentos flexibles y pavimentos rígidos [en línea]. 2021. Disponible en: <https://www.unifort.es/pavimentos-asfalto/pavimentos-flexibles-rigidos/>

VALVERDE, Evert y CALISAYA, Williams. Diseño estructural del pavimento flexible para la carretera Panamericana Sur- tramo km 1300+00 a km 1330+00 de la ciudad de Tacna. Tesis (Ingeniero Civil). Tacna: Universidad Privada de Tacna, 2019.

VILLANUEVA, D. La adición del aceite residual automotriz mejora la estabilización de subrasante de la carretera afirmada Dv. Chirinos – Chirinos, Cajamarca, 2021 [en línea]. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2022. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/1040>

YAYICO, Wladimir Javier. Modificación estructural del chasis de un semirremolque portacontenedor tipo cama baja para el aumento de capacidad de carga de 30 a 36 toneladas. Tesis (Ingeniero Mecánico). 2019.

ANEXOS

Anexos 1: Matriz de consistencia

" USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO "					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL		Método Marshall	Tipo, nivel y método de investigación: Cuantitativa, aplicada.
¿De qué manera la adición del aceite residual automotriz en la preparación del pavimento flexible mejorará su resistencia a la compresión en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno?	Determinar la mejora de la resistencia a la compresión del pavimento flexible empleando el aceite residual automotriz en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno	Existe una mejora de la resistencia a la compresión del pavimento flexible empleando el aceite residual automotriz en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno	Aceite residual automotriz (Variable Independiente)	Viscosidad	Población de estudio: Grupo de briquetas de asfalto
				Densidad	Diseño muestral: Constituido por 48 briquetas de asfalto
				Humedad (%)	
ESPECÍFICAS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS		Estudio de tráfico	Técnicas de recolección de datos: Observación directa.
¿Cuál es el efecto al usar un 1 %, un 2 % y un 3 % del aceite residual automotriz en la máxima densidad seca de la mezcla asfáltica en frío en la carretera de San Antonio de Putina hasta Quilcapuncu, departamento de Puno?	Evaluar la máxima densidad seca al usar el 1%, el 2 % y el 3 % de aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica en frío.	La máxima densidad seca al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica es óptima.	Resistencia a la compresión del pavimento flexible (Variable Dependiente)	Resistencia	Instrumentos de recolección de datos: Ficha de observación
¿Cuánto difiere la estabilidad de la mezcla asfáltica en frío tras usar el 1 %, el 2 % y el 3 % del aceite residual automotriz?	Calcular la estabilidad de la mezcla asfáltica en frío aplicando el 1 %, el 2 % y el 3 % de aceite residual automotriz.	La estabilidad al usar el aceite reciclado automotriz en la mezcla asfáltica es superior en la estándar.		Ensayo de la gravedad específica	Técnicas de análisis de datos: SPSS
¿Cuál será la diferencia del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en frío con la adición de un 1 %, un 2% y un 3 % en aceite residual automotriz?	Calcular el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en frío aplicando el 1 %, el 2 % y el 3% de aceite residual automotriz.	El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica es superior usando el aceite reciclado automotriz.		Flujo Marshall	
¿Cuánto es la diferencia entre la mezcla asfáltica patrón y modificada?	Comparar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica patrón y modificada.	La mezcla asfáltica modificada muestra mejoras al compararse con la muestra patrón.			
¿Cuál es la dosificación óptima al usar el aceite residual automotriz en la mezcla asfáltica?	Determinar la dosificación óptima de la mezcla asfáltica usando el aceite residual automotriz.	La dosificación óptima de aceite residual tiene una variación significativa en relación a la muestra estándar.			

Anexo 2: Ficha de Mantenimiento

CÓDIGO: 00946

CREACIÓN DE LA CARRETERA

FECHA INICIO: 11/11/2009 FECHA TERMINO:11/11/2014

SERVICIO DE GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL JULIACA – PUTINA – ORIENTAL – SANDIA- SAN IGNACIO – PUNTA DE CARRETERA Y DV. PUTINA – MOHO – CONIMA- DV. MILILAYA – FRONTERA CON BOLIVIA Y DV. MILILAYA- TILALI- FRONTERA CON BOLIVIA, QUE COMPRENDE 438 KM.

FUENTE: <https://www.iccgsa.com/proyecto/corredor-vial-juliaca-tilali/>

INTERVENCIONES

21/02/2018

SERVICIO DE SUPERVISIÓN DE LA GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL: JULIACA – PUTINA - ORIENTAL – SANDIA – SAN IGNACIO - PUNTA DE CARRETERA Y DV. PUTINA – MOHO – CONIMA – MILILAYA – TILALI – FRONTERA CON BOLIVIA.

FUENTE:http://gis.proviasnac.gob.pe/transparencia/contratos/lista_contratos.asp?s_id periodo=111&s_id_tipcont=016&s_id columna=&s ds valor=

24/07/2020

SERVICIO DE INSPECTOR PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO Y RUTINARIO DE LOS CAMINOS VECINALES DEL TRAMO: EMP. PE 34 H (QUILCAPUNCO) EMP. PU 827 (UYUNI) TRAMO: EMP. PU 827(SAN FRANCISCO) TARAUCANI TRAMO: EMP. PE 34H CHAMACANI TRAMO: EMP.DV MIJANI SECTOR - SERVICIO DE INSPECTOR PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO Y RUTINARIO DE LOS CAMINOS VECINALES DEL TRAMO: EMP. PE 34 H (QUILCAPUNCO) EMP. PU 827 (UYUNI) TRAMO: EMP. PU 827(SAN FRANCISCO) TARAUCANI TRAMO: EMP. PE 34H CHAMACANI TRAMO: EMP.DV MIJAN.

FUENTE:<https://www.perulicitaciones.com/servicio-de-inspector-para-el-mantenimiento-periodico-y-rutinario-de-los-caminos-vecinales-del-tramo-emp-pe-34-h-quilcapunco-emp-pu-827-uyuni-tramo-emp-pu-827-san-francis-let221452.html>

23/09/2022

SERVICIO DE GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL: JULIACA - PUTINA ORIENTAL - SANDIA -SAN IGNACIO - PUNTA DE CARRETERAS Y DV. PUTINA - MOHO - CONIMA - MILILAYA - FRONTERA CON BOLIVIA Y DV. MILILAYA - FRONTERA CON BOLIVIA Y DV. MILILAYA - TILALI Y FRONTERA CON BOLIVIA.

FUENTE:https://www.perulicitaciones.com/servicio-de-gesti%C3%93n-mejoramiento-y-conservaci%C3%93n-vial-por-niveles-de-servicio-del-corredor-vial-juliaca-putina-oriental-sandia-san-ignacio-punta-de-carreteras-y-dv-putina--lct376017.html#google_vignette

Anexo 3: Proceso estadístico

```
ONEWAY VAR00001 BY VAR00002
  /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY
  /PLOT MEANS
  /MISSING ANALYSIS.
```

Unidireccional

Notas		
Salida creada		19-FEB-2025 17:42:00
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	ConjuntoDatos0
	Filtro	<ninguno>
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	24
Manejo de valores perdidos	Definición de perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario se tratan como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos para cada análisis se basan en casos sin datos perdidos para cualquier variable del análisis.
Sintaxis		ONEWAY VAR00001 BY VAR00002 /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY /PLOT MEANS /MISSING ANALYSIS.
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:03.64
	Tiempo transcurrido	00:00:01.44

Avisos

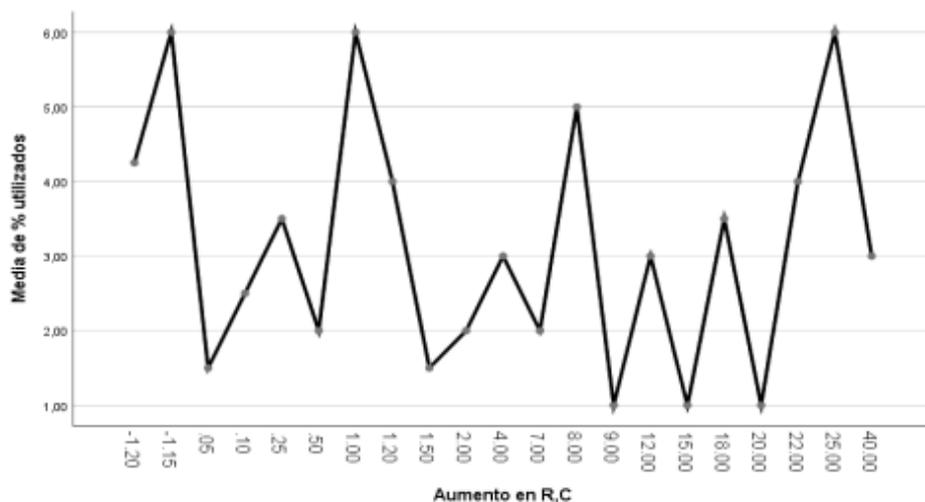
Todas las desviaciones absolutas son constantes dentro de cada celda. Las estadísticas F de Levene no se pueden calcular.

Descriptivos							
% utilizados							
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		
					Límite inferior	Límite superior	
-1,20	2	4,2500	,35355	,25000	1,0734	7,4266	
-1,15	1	6,0000	-	-	-	-	
,05	1	1,5000	-	-	-	-	
,10	1	2,5000	-	-	-	-	
,25	1	3,5000	-	-	-	-	
,50	1	2,0000	-	-	-	-	
1,00	1	6,0000	-	-	-	-	
1,20	1	4,0000	-	-	-	-	
1,50	2	1,5000	,70711	,50000	-4,8531	7,8531	
2,00	1	2,0000	-	-	-	-	
4,00	1	3,0000	-	-	-	-	
7,00	1	2,0000	-	-	-	-	
8,00	1	5,0000	-	-	-	-	
9,00	1	1,0000	-	-	-	-	
12,00	1	3,0000	-	-	-	-	
15,00	1	1,0000	-	-	-	-	
18,00	2	3,5000	2,12132	1,50000	-15,5593	22,5593	
20,00	1	1,0000	-	-	-	-	
22,00	1	4,0000	-	-	-	-	
25,00	1	6,0000	-	-	-	-	
40,00	1	3,0000	-	-	-	-	
Total	24	3,1250	1,66322	,33950	2,4227	3,8273	

Descriptivos		
% utilizados		
	Minimo	Máximo
-1,20	4,00	4,50
-1,15	6,00	6,00
,05	1,50	1,50
,10	2,50	2,50
,25	3,50	3,50
,50	2,00	2,00
1,00	6,00	6,00
1,20	4,00	4,00
1,50	1,00	2,00
2,00	2,00	2,00
4,00	3,00	3,00
7,00	2,00	2,00
8,00	5,00	5,00
9,00	1,00	1,00
12,00	3,00	3,00
15,00	1,00	1,00
18,00	2,00	5,00
20,00	1,00	1,00
22,00	4,00	4,00
25,00	6,00	6,00
40,00	3,00	3,00
Total	1,00	6,00

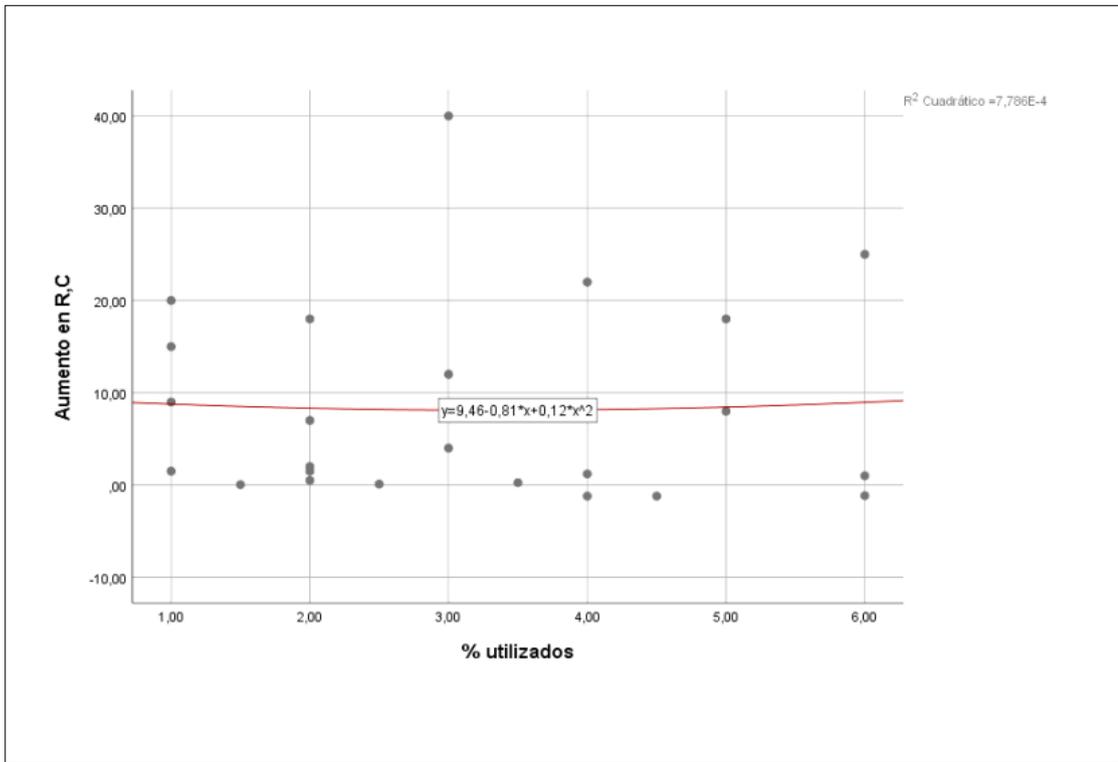
ANOVA					
% utilizados					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	58,500	20	2,925	1,712	,368
Dentro de grupos	5,125	3	1,708		
Total	63,625	23			

Gráficos de medias

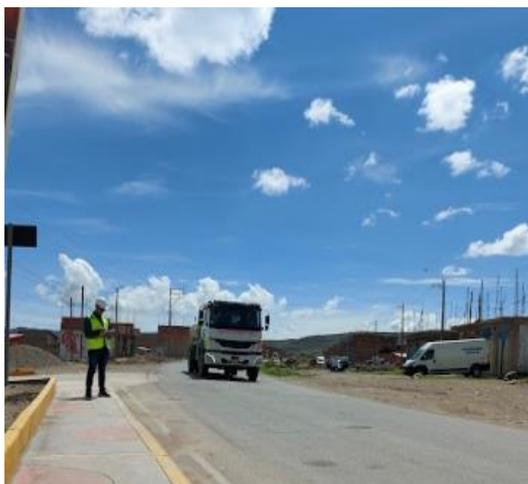
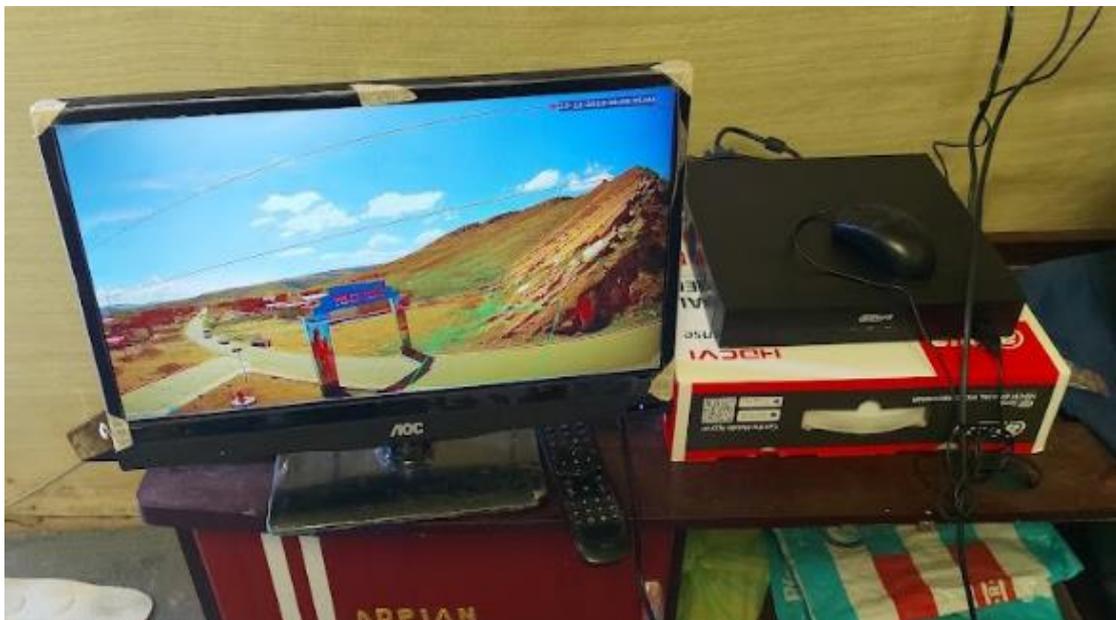


Gráfico

Notas		
Salida creada	19-FEB-2025 17:42:18	
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	ConjuntoDatos0
	Filtro	<ninguno>
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	24
Sintaxis	GRAPH	
	/SCATTERPLOT(BIVAR)=VA R00001 WITH VAR00002 /MISSING=LISTWISE.	
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:00.72
	Tiempo transcurrido	00:00:00.25



Anexo 4: Panel Fotográfico – Estudio de tráfico





Las imágenes muestran el estudio de tráfico realizado en la zona de estudio

Anexo 5: Panel Fotográfico de la carretera



Las imágenes muestran el mal estado de la carretera en diversos tramos.

Anexo 6: Panel Fotográfico de la cantera Cabanillas



Las imágenes muestran la obtención de los agregados gruesos y finos de la cantera.

Anexos 7: Panel fotografico de los ensayos de agregado



Las imágenes muestran el proceso del ensayo granulométrico realizado a los agregados.



Las imágenes muestran las partículas de 01 cara fracturada y 2 caras amas fracturadas.



La imagen muestra la separación de las partículas chatas y alargadas



Las imágenes muestran el procedimiento de los ensayos realizados a la equivalencia de arena.



Las imágenes muestran el procedimiento realizado en el ensayo de agresión de los ángeles



Las imágenes muestran el procedimiento realizado del ensayo de gravedad específica y absorción de los agregados

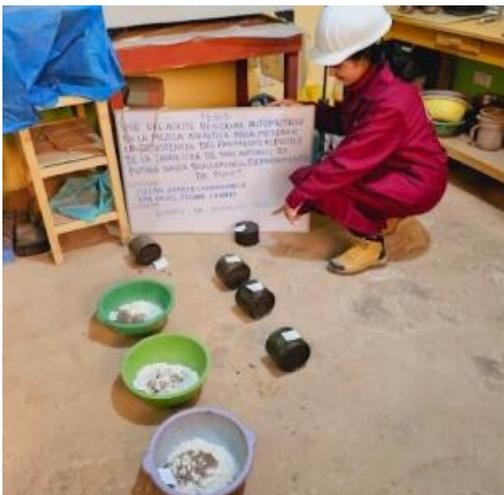


Las imágenes muestran el procedimiento realizado del ensayo de gravedad específica y absorción de la piedra chancada.

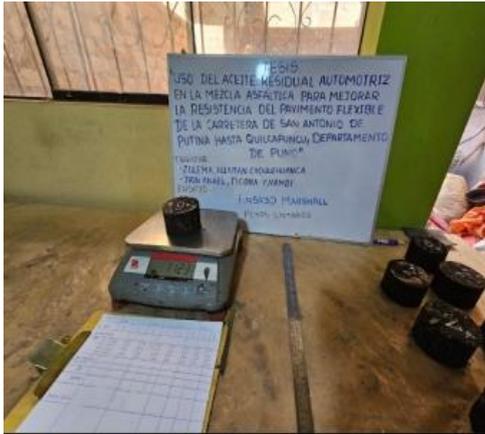


Las imágenes muestran el procedimiento realizado del ensayo de cono de arena.

Anexos 8: Panel fotografico de la elaboracion de la mezcla asfaltica



TESIS
"USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ
EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR
LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE
PUTINA HASTA QUILCAPUNCO, DEPARTAMENTO
DE PUNO"
TESISTAS
-ZULEMA HUAMAN CRODOLLENCA
-JHON ANGEL TICONA CHAMBI
ENSAYO
DISEÑO DE ASFALTO (PATRON)



Las imágenes muestran la elaboración de las probetas asfálticas antes de ser usadas en los ensayos.



Las imágenes muestran las probetas asfálticas en sus primeros ensayos.



Las imágenes muestran el ensayo a la compresión realizado a las probetas asfálticas





Las imágenes muestran el ensayo a la tracción realizado a las probetas asfálticas



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO

CANTERA : RIO CABANILLAS

MUESTRA : ARENA CHANCADA

UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.

ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

FECHA : 10/05/2024

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						
2 1/2"	63.000						DATOS DE LA MUESTRA:
2"	50.000						Peso inicial : 2359 Grs
1 1/2"	37.500						Peso fracción : Grs
1"	25.000						
3/4"	19.000				100.00		PROPORCION DE AGREGADOS:
1/2"	12.500				100.00		Grava : 21.80 %
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Arena : 78.20 %
No.04	4.750	514.00	21.80	21.80	78.20		Fino : 0.00 %
No.10	2.000	602.00	25.50	47.30	52.70		W natural : 1.26 %
No.20	0.840	442.00	18.70	66.00	34.00		
No.40	0.425	239.00	10.10	76.10	23.90		OBSERVACIONES:
No.60	0.250	217.00	9.20	85.30	14.70		
No.100	0.150	61.00	2.60	87.90	12.10		
No.200	0.075	78.00	3.30	91.20	8.80		
<No.200		206.00	8.70	99.90			

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD





GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS

TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.

MUESTRA : ARENA ZARANDEADA NATURAL

ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

UBICACION : PLANTA DE ASFALTO

FECHA : 10/05/2024

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						
2 1/2"	63.000						DATOS DE LA MUESTRA:
2"	50.000						Peso inicial : 1264 Grs
1 1/2"	37.500						Peso fracción : Grs
1"	25.000						
3/4"	19.000				100.00		PROPORCION DE AGREGADOS:
1/2"	12.500				100.00		Grava : 4.60 %
3/8"	9.500	7.00	0.60	0.60	99.40		Arena : 95.40 %
No.04	4.750	51.00	4.00	4.60	95.40		Fino : 0.00 %
No.10	2.000	128.00	10.10	14.70	85.30		W natural : 5.11 %
No.20	0.840	212.00	16.80	31.50	68.50		
No.40	0.425	324.00	25.60	57.10	42.90		OBSERVACIONES:
No.80	0.180	442.00	35.00	92.10	7.90		
No.100	0.150	44.00	3.50	95.60	4.40		
No.200	0.075	24.00	1.90	97.50	2.50		
<No.200		32.00	2.50	100.00			

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Registro en el Perú: Oficina de Registro y Conservación

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. Lic. 81732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS

TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.

MUESTRA : AGREGADO FINO

ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

FECHA : 10/05/2024

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						
2 1/2"	63.000						DATOS DE LA MUESTRA:
2"	50.000						Peso inicial : 2634 Grs
1 1/2"	37.500						Peso fracción : Grs
1"	25.000						
3/4"	19.000				100.00		PROPORCION DE AGREGADOS:
1/2"	12.500				100.00		Grava : 0.00 %
3/8"	9.500				100.00		Arena : 100.00 %
No.04	4.750				100.00		Fino : 0.00 %
No.10	2.000				100.00		W natural : %
No.20	0.840	0.00	0.00	0.00	100.00		
No.30	0.600	2.00	0.10	0.10	99.90	100	
No.40	0.425	14.00	0.50	0.50	99.50		OBSERVACIONES:
No.80	0.180	18.00	0.70	1.20	98.80		
No.100	0.150	32.00	1.20	2.40	97.60	95-100	
No.200	0.075	222.00	8.40	10.80	89.20	70-100	
<No.200		2,346.00	89.10	99.90			

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Mecánica de Suelos y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



OBRA : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS
MUESTRA : MEZCLA DE AGREGADOS
UBICACIÓ : PLANTA DE ASFALTO

TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.
ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA : 10/05/2024

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MEZCLA)

Tamices ASTM	Abertura mm	% Que Pasa		% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000	PIEDRA	ARENA	ARENA		MEZCLA		Peso inicial : 5251 Grs
2 1/2"	63.000	CHANC.	CHANC.	NATURAL	FILLER	TOTAL		Peso fracción : 500 Grs
2"	50.000							Grava : 39.56 %
1 1/2"	37.500	30%	41.0%	26.0%	3.0%	100.00%		Arena : 52.93 %
1"	25.000							Fino : 7.50 %
3/4"	19.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100 - 100	W natural : %
1/2"	12.500	48.80	100.00	100.00	100.00	84.64	80 - 100	
3/8"	9.500	4.10	100.00	99.40	100.00	74.07	70 - 88	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4.750	1.90	78.20	95.40	100.00	60.44	51 - 68	L.L. : %
No.10	2.000	1.90	52.70	85.30	100.00	47.36	38 - 52	L.P. : %
No.20	0.840	1.90	34.00	68.50	100.00	33.32		I.P. : %
No.40	0.425	1.90	23.90	42.90	99.50	24.51	17 - 28	
No.80	0.180	1.90	14.70	7.90	98.80	11.62	8 - 17	
No.100	0.150	1.90	12.10	4.40	97.60	9.60		CLASIFICACION
No.200	0.075	1.90	8.80	2.50	89.20	7.50	4 - 8	SUCS : %
<No.200								AASHTO : %

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Puentes, Obras de Infraestructura y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS **TECN. RESP. :** PERSONAL LABOR.

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 1/2" **ING. RESP. :** ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO **FECHA :** 10/05/2024

DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS

(MTC E 221, ASTM D 4791)

PESO TOTAL DE LA MUESTRA 1,000.0 GRAMOS

TAMAÑO DE MALLAS		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO PARA ENSAYO	PESO PART. CHAT. Y ALARG.	% DE PART. CHAT. Y ALARG.	
PASA	RETIENE	(GRAMOS)	(%)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	
		Pr	Ri	Pi	Pa	Li	Li X Ri
50mm(2")	37.50mm(1 1/2")						
37.50mm(1 1/2")	25mm(1")						
25mm(1")	19.0mm(3/4")						
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	515.00	51.50	515.00	41	7.96	410
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	485.00	48.50	485.00	38	7.84	380
TOTAL		1,000.0	100.00				790

% DE PARTICULAS CHATAS Y : $\frac{\text{Sumatoria (Li x Ri)}}{\text{Sumatoria Ri}}$

ALARGADAS PROMEDIO

Reemplazando en la formula : $\frac{790.00}{100.00}$

% de particulas chatas y
alargadas promedio : 7.90 %

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Puentes, Estructuras, Construcción y Consultoría

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
R.G. C.P. 81732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO

TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS

TECN. RESP. : PERSONAL LABORATORIO

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 1/2"

ING. RESP. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

FECHA : 10/05/2024

DETERMINACION DE PARTICULAS DE 01 CARA FRACTURADA

PESO TOTAL DE LA MUESTRA 1,000.0 GRAMOS

TAMAÑO DE MALLAS		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO PARA ENSAYO	PESO PART. 1 CARA FRACT.	% DE PART. 1 CARA FRACT.	
PASA	RETIENE	(GRAMOS)	(%)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	
		Pr	Ri	Pi	Pa	Li	LI X Ri
50mm(2")	37.50mm(1 1/2")						
37.50mm(1 1/2")	25mm(1")						
25mm(1")	19.0mm(3/4")						
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	515.00	51.50	515.00	442.00	85.83	4,420
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	485.00	48.50	485.00	429.00	88.45	4,290
TOTAL		1,000.0	100.00				8,710

% DE PARTICULAS 01 CARA :	$\frac{\text{Sumatoria (Li x Ri)}}{\text{Sumatoria Ri}}$
FRACTURADA PROMEDIO	

Reemplazando en la formula : $\frac{8,710.00}{100.00}$

% de particulas de cara
fracturada promedio : 87.10 %

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Edificaciones, Mecánica de Suelos y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 61732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS **TECN. RESP.** : PERSONAL LABORATORIO

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 1/2" **ING. RESP.** : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO **FECHA** : 10/05/2024

DETERMINACION DE PARTICULAS DE MAS DE 02 CARAS FRACTURADAS

PESO TOTAL DE LA MUESTRA 1,000.0 GRAMOS

TAMAÑO DE MALLAS		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO PARA ENSAYO	PESO PART. MAS 02 CARAS	% DE PART. MAS 02 CARAS	
PASA	RETIENE	(GRAMOS)	(%)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	(GRAMOS)	
		Pr	Ri	Pi	Pa	Li	Li X Ri
50mm(2")	37.50mm(1 1/2")						
37.50mm(1 1/2")	25mm(1")						
25mm(1")	19.0mm(3/4")						
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	515.00	51.50	515.00	342.00	66.41	3,420
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	485.00	48.50	485.00	321.00	66.19	3,210
TOTAL		1,000.0	100.00				6,630

% DE PARTICULAS MAS 02 CARAS : $\frac{\text{Sumatoria (Li x Ri)}}{\text{Sumatoria Ri}}$

FRACTURADAS PROMEDIO

Reemplazando en la formula : $\frac{6,630.00}{100.00}$

% de particulas de mas de 02
caras fracturadas promedic : 66.30 %

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Obras de Infraestructura y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Rep. CIR 61732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES -
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS **TECN. RESPN.** : PERSONAL LABOR.
MUESTRA : AGREGADO GRUESO Y FINO **ING. RESPN.** : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO **FECHA** : 10/05/2024

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C-128)

AGREGADO GRUESO				
DISCRIMINACION		N° DE MUESTRA		
		1	2	3
A. Peso material saturado superficialmente seca (en el aire)	g	1,803.0	872.0	981.0
B. Peso material saturado superficialmente seca (en agua)	g	1105.0	535	605
C. Volúmen de masa + volúmen de vacios	cm3	698.0	337.0	376.0
D. Peso material seco	g	1,761.0	852.0	958.0
E. Volúmen de masa	cm3	656.0	317.0	353.0
F. Peso Especifico Bulk (base seca)	g/cm3	2.523	2.528	2.548
G. Peso Especifico Bulk (base saturada)	g/cm3	2.583	2.588	2.609
H. Peso Especifico Aparente (base seca)	g/cm3	2.684	2.688	2.714
I. Absorción	%	2.39	2.35	2.40

AGREGADO FINO CHANCADA				
DISCRIMINACION		N° DE MUESTRA		
		1	2	3
A. Peso material saturado superficialmente seca (en el aire)	g	520.0	536.0	571.0
B. Peso material saturado superficialmente seca (en agua)	g	321.0	331	353
C. Volúmen de masa + volúmen de vacios	cm3	199.0	205.0	218.0
D. Peso material seco	g	507.0	522.0	557.0
E. Volúmen de masa	cm3	186.0	191.0	204.0
F. Peso Especifico Bulk (base seca)	g/cm3	2.548	2.546	2.555
G. Peso Especifico Bulk (base saturada)	g/cm3	2.613	2.615	2.619
H. Peso Especifico Aparente (base seca)	g/cm3	2.726	2.733	2.73
I. Absorción	%	2.56	2.68	2.51

Observación:

GEOTECNIA PUNO EIRL.
 Ingenieros de Políticas, Proyectos de Construcción y Mantenimiento

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP: 81732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANtera : RIO CABANILLAS **TECN. RESP.** PERSONAL LABOR.

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 1/2" **ING. RESP.** ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO DE LA OBRA **FECHA** 10/05/2024

DESGASTE DE ABRASION ASTM C131, MTC E 207 (Gradación "A")

TAMAÑO DE MALLAS		MASA ORIGINAL (GRAMOS)	MASA FINAL (GRAMOS)	MASA PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	% DE DESGASTE POR ABRASION
PASA	RETIENE				
38.1mm(1 1/2")	25.4mm(1")		.....	.....	.....
25.4mm(1")	19.0mm(3/4")		.....	.....	.....
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	2,508.0	.....	.....	.....
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	2,509.0	.....	.....	.....
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		5,017.0	3,626.00	1,391.00	27.73%

OBSERVACIONES:

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Puentes, Obras de Pavimentos y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. C.O. 51732

Anexo 10: Ensayos usando 45°

		GEOTECNIA PUNO EIRL MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA				
ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)						
PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO TESISISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULÉMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA						
CANTERA :	RIO CABANILLAS	TECN. RESPONS. :	PERSONAL LABOR.			
MUESTRA :	MEZCLA ASFALTICA EN FRIJO	ING. RESPONS. :	ALFREDO ALARCON ATAHUACHI			
UBICACIÓN :	PLANTA DE ASFALTO	FECHA :	04/06/2024			
		TEMPERATURA :	45°			
	NUMERO DE BRIQUETA	1	2	3	4	ESPECIF.
	Porcentaje de emulsion	9	10	11	12	
1	% Cemento Asfaltico Residual en peso de la Mezcla	5.50	6.00	6.50	7.00	
2	Altura promedio de la Briqueta	6.70	6.60	6.80	6.60	
3	Peso de la Briqueta al Aire	1132	1126	1118	1121	
4	Peso de la Briqueta saturada	1134	1128	1121	1124	
5	Peso de la Briqueta al agua	571	576	573	566	
6	Volumen de la briqueta por desplazamiento	561.00	550.00	545.00	555.00	
7	Peso Unitario	2.02	2.05	2.05	2.02	
8	Densidad maxima (RICE)	2.207	2.191	2.219	2.246	
9	% Vacios	8.60	6.60	7.60	10.20	3.0 - 8.0
10	Estabilidad sin corregir (Kg)	1284	1157	1027	902	
11	Factor de Estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.93	
12	Estabilidad Corregida (Kg)	1194	1076	955	839	Min. 226
13	Flujo (mm)	3.62	4.21	4.92	5.89	2.0 - 4.0
OBSERVACIONES:						
 GEOTECNIA PUNO EIRL. Ingeniería de Recursos, Edificación y Construcción ALFREDO ALARCON ATAHUACHI INGENIERO CIVIL Reg. CIP 81732						



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



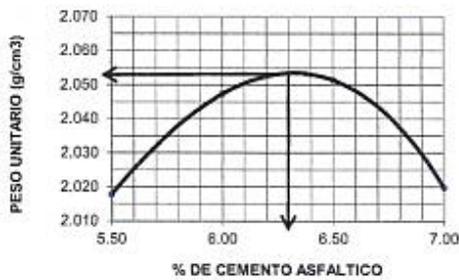
OBRA : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

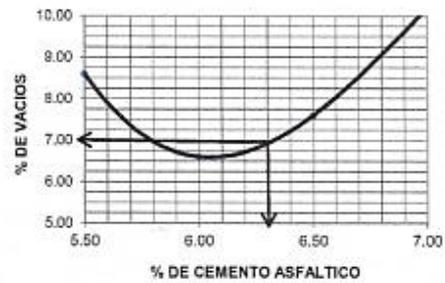
TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.
ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA : 04/06/2024
TEMPERATURA : 45°

GRAFICOS DE ENSAYO MARSHALL

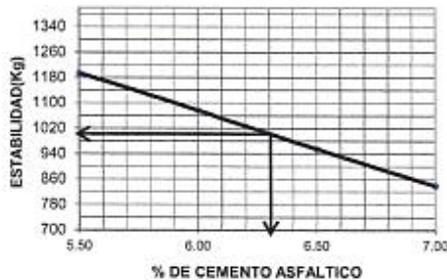
PESO UNITARIO



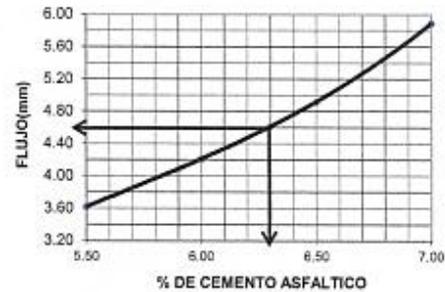
% DE VACIOS



ESTABILIDAD



FLUJO



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Ferrocarriles, Estructuras, Puentes y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR 51732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



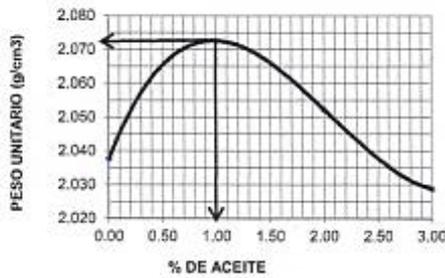
OBRA : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
UBICACION : PLANTA DE ASFALTO

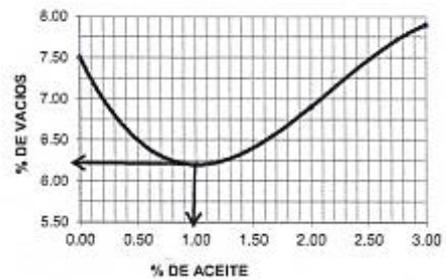
TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.
ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA : 04/06/2024
TEMPERATURA : 45°

GRAFICOS DE ENSAYO MARSHALL

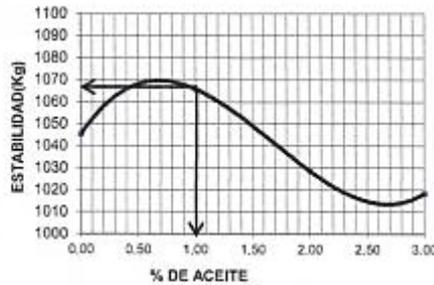
PESO UNITARIO



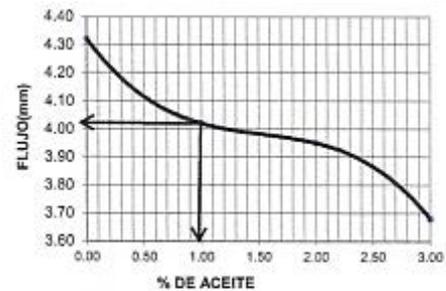
% DE VACIOS



ESTABILIDAD



FLUJO



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Cimentaciones y Obras de Saneamiento

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
REG. CIR. 81732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

MUESTRA : TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA **TECN. RESPONS.** : PERSONAL LABORATORIO

TEMPERATURA : 45° **ING. RESPONS.** : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE (ASTM D-422)

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	% ACEITE	FECHA DE:		EDAD (Dias)	AREA (cm2)	CARGA (Kg)	ROTURA (Kg/cm2)
			MOLDEO	ROTURA				
1	TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA	0	4/06/24	5/06/24	1	78.54	572	7.3
2	TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA	1	4/06/24	5/06/24	1	78.54	596	7.6
3	TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA	2	4/06/24	5/06/24	1	78.54	565	7.2
4	TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA	3	4/06/24	5/06/24	1	78.54	514	6.5
	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX							

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Estudios de Geotecnia y Construcción

[Handwritten Signature]

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 1732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



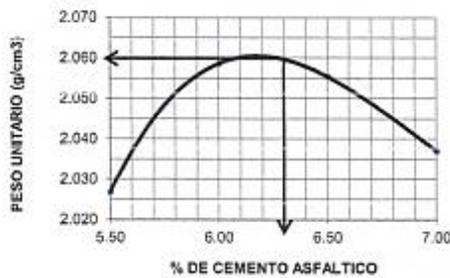
OBRA : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

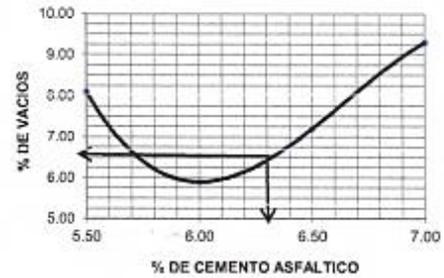
TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.
ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA : 01/06/2024
TEMPERATURA : 60°

GRAFICOS DE ENSAYO MARSHALL

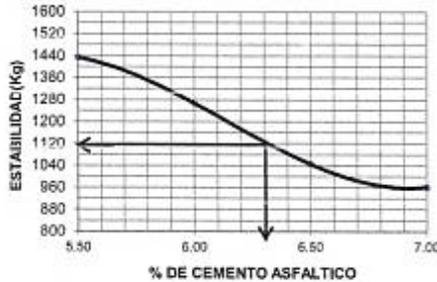
PESO UNITARIO



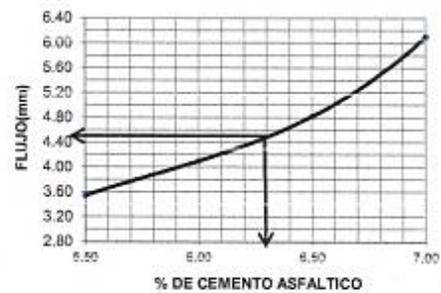
% DE VACIOS



ESTABILIDAD



FLUJO



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Estructuras, Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 61732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANtera : RIO CABANILLAS **TECN. RESPONS.** : PERSONAL LABOR.
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN FRIO **ING. RESPONS.** : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
UBICACION : PLANTA DE ASFALTO **FECHA** : 01/06/2024
TEMPERATURA : 60°

NUMERO DE BRIQUETA	1	2	3	4	ESPECIF.
Porcentaje de emulsion	10.5	10.5	10.5	10.5	
1 % Cemento Asfaltico Residual en peso de la Mezcla	6.30	6.30	6.30	6.30	
2 % Aceite añadido a la Mezcla	0.00	1.00	2.00	3.00	
3 Altura promedio de la Briqueta	6.60	6.60	6.50	6.30	
4 Peso de la Briqueta al Aire	1123	1138	1132	1102	
5 Peso de la Briqueta saturada	1125	1140	1134	1105	
6 Peso de la Briqueta al agua	580	594	588	568	
7 Volumen de la briqueta por desplazamiento	543.00	544.00	544.00	534.00	
8 Peso Unitario	2.07	2.09	2.08	2.06	
9 Densidad maxima (RICE)	2.200	2.208	2.204	2.201	
10 % Vacios	6.00	5.30	5.60	6.20	3.0 - 8.0
11 Estabilidad sin corregir (Kg)	1205	1278	1234	1212	
12 Factor de Estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.93	
13 Estabilidad Corregida (Kg)	1121	1189	1148	1127	Min. 226
14 Flujo (mm)	4.20	3.90	3.80	3.54	2.0 - 4.0

OBSERVACIONES:

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Puentes, Edificación y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR 81732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



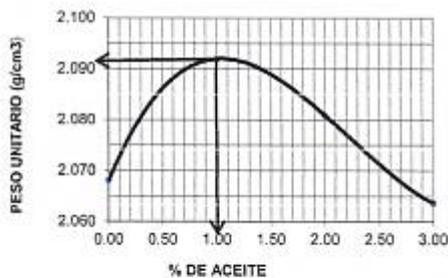
OBRA : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
UBICACIÓI : PLANTA DE ASFALTO

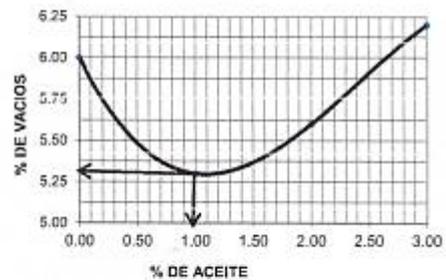
TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.
ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA : 01/06/2024
TEMPERATURA : 60°

GRAFICOS DE ENSAYO MARSHALL

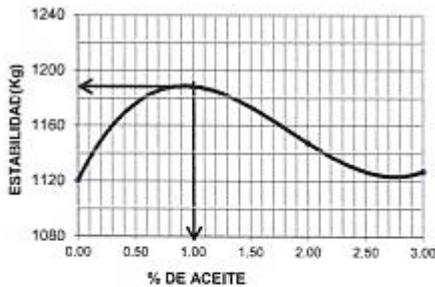
PESO UNITARIO



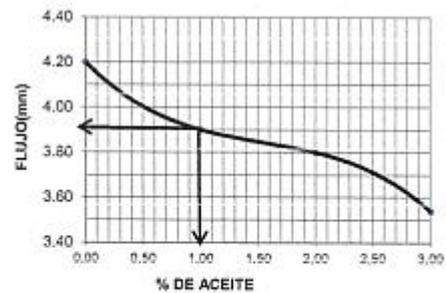
% DE VACIOS



ESTABILIDAD



FLUJO



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pedagogía, Turismo, Geología y Asesorías

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732

Anexo 12: Ensayos usando 75°

		GEOTECNIA PUNO EIRL MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA																																																																																																												
ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)																																																																																																														
PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO TESISITAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA																																																																																																														
CANTERA : RIO CABANILLAS		TECN. RESPONS. :		PERSONAL LABOR,																																																																																																										
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN FRIO		ING. RESPONS. :		ALFREDO ALARCON ATAHUACHI																																																																																																										
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO		FECHA :		06/06/2024																																																																																																										
		TEMPERATURA :		75°																																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">NUMERO DE BRIQUETA</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>ESPECIF.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Porcentaje de emulsion</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>% Cemento Asfáltico Residual en peso de la Mezcla</td> <td>5.50</td> <td>6.00</td> <td>6.50</td> <td>7.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Altura promedio de la Briqueta</td> <td>6.90</td> <td>6.80</td> <td>6.80</td> <td>6.80</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Peso de la Briqueta al Aire</td> <td>1124</td> <td>1145</td> <td>1126</td> <td>1135</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Peso de la Briqueta saturada</td> <td>1126</td> <td>1148</td> <td>1129</td> <td>1138</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Peso de la Briqueta al agua</td> <td>574</td> <td>594</td> <td>584</td> <td>580</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Volumen de la briqueta por desplazamiento</td> <td>550.00</td> <td>551.00</td> <td>542.00</td> <td>555.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Peso Unitario</td> <td>2.04</td> <td>2.08</td> <td>2.08</td> <td>2.05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Densidad maxima (RICE)</td> <td>2.208</td> <td>2.192</td> <td>2.219</td> <td>2.252</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>% Vacios</td> <td>7.40</td> <td>5.20</td> <td>6.40</td> <td>9.20</td> <td>3.0 - 8.0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Estabilidad sin corregir (Kg)</td> <td>1624</td> <td>1482</td> <td>1252</td> <td>1168</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Factor de Estabilidad</td> <td>0.93</td> <td>0.93</td> <td>0.93</td> <td>0.93</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Estabilidad Corregida (Kg)</td> <td>1510</td> <td>1378</td> <td>1164</td> <td>1086</td> <td>Min. 226</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>Flujo (mm)</td> <td>3.61</td> <td>4.22</td> <td>4.96</td> <td>6.43</td> <td>2.0 - 4.0</td> </tr> </tbody> </table>						NUMERO DE BRIQUETA		1	2	3	4	ESPECIF.		Porcentaje de emulsion	9	10	11	12		1	% Cemento Asfáltico Residual en peso de la Mezcla	5.50	6.00	6.50	7.00		2	Altura promedio de la Briqueta	6.90	6.80	6.80	6.80		3	Peso de la Briqueta al Aire	1124	1145	1126	1135		4	Peso de la Briqueta saturada	1126	1148	1129	1138		5	Peso de la Briqueta al agua	574	594	584	580		6	Volumen de la briqueta por desplazamiento	550.00	551.00	542.00	555.00		7	Peso Unitario	2.04	2.08	2.08	2.05		8	Densidad maxima (RICE)	2.208	2.192	2.219	2.252		9	% Vacios	7.40	5.20	6.40	9.20	3.0 - 8.0	10	Estabilidad sin corregir (Kg)	1624	1482	1252	1168		11	Factor de Estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.93		12	Estabilidad Corregida (Kg)	1510	1378	1164	1086	Min. 226	13	Flujo (mm)	3.61	4.22	4.96	6.43	2.0 - 4.0
NUMERO DE BRIQUETA		1	2	3	4	ESPECIF.																																																																																																								
	Porcentaje de emulsion	9	10	11	12																																																																																																									
1	% Cemento Asfáltico Residual en peso de la Mezcla	5.50	6.00	6.50	7.00																																																																																																									
2	Altura promedio de la Briqueta	6.90	6.80	6.80	6.80																																																																																																									
3	Peso de la Briqueta al Aire	1124	1145	1126	1135																																																																																																									
4	Peso de la Briqueta saturada	1126	1148	1129	1138																																																																																																									
5	Peso de la Briqueta al agua	574	594	584	580																																																																																																									
6	Volumen de la briqueta por desplazamiento	550.00	551.00	542.00	555.00																																																																																																									
7	Peso Unitario	2.04	2.08	2.08	2.05																																																																																																									
8	Densidad maxima (RICE)	2.208	2.192	2.219	2.252																																																																																																									
9	% Vacios	7.40	5.20	6.40	9.20	3.0 - 8.0																																																																																																								
10	Estabilidad sin corregir (Kg)	1624	1482	1252	1168																																																																																																									
11	Factor de Estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.93																																																																																																									
12	Estabilidad Corregida (Kg)	1510	1378	1164	1086	Min. 226																																																																																																								
13	Flujo (mm)	3.61	4.22	4.96	6.43	2.0 - 4.0																																																																																																								
OBSERVACIONES:																																																																																																														
 GEOTECNIA PUNO EIRL. <small>Ingeniería de Pavimentos, Puentes, Obras de Infraestructura y Construcción</small> ALFREDO ALARCON ATAHUACHI INGENIERO CIVIL Reg. CIP: 81732																																																																																																														



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



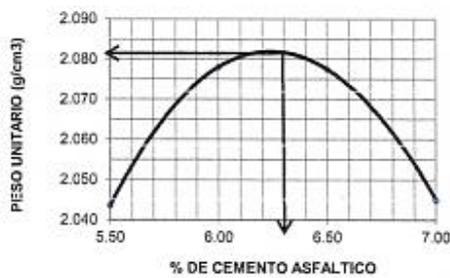
OBRA : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

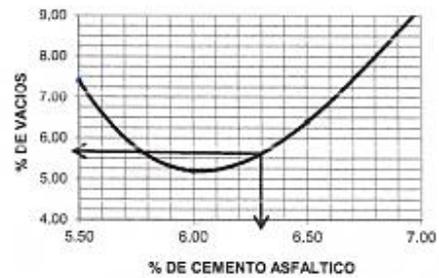
TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.
ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA : 06/06/2024
TEMPERATURA : 75°

GRAFICOS DE ENSAYO MARSHALL

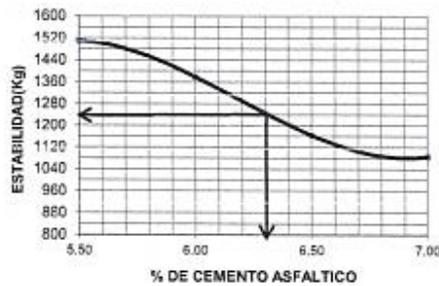
PESO UNITARIO



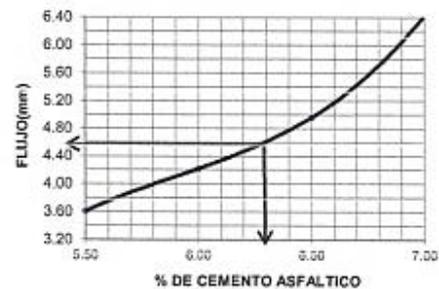
% DE VACIOS



ESTABILIDAD



FLUJO



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Mecánica de Suelos, Pavimentos, Cimentaciones y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP B1732



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



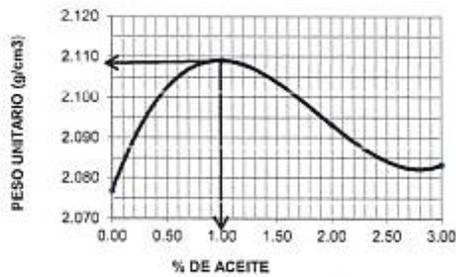
OBRA : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO
TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

CANTERA : RIO CABANILLAS
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

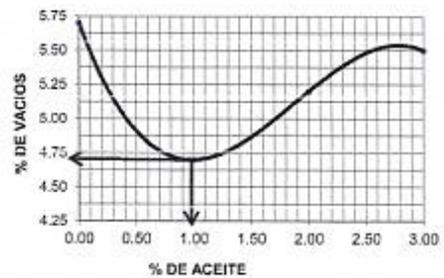
TECN. RESPONS. : PERSONAL LABOR.
ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA : 06/06/2024
TEMPERATURA : 75°

GRAFICOS DE ENSAYO MARSHALL

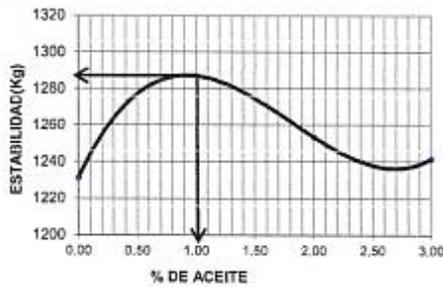
PESO UNITARIO



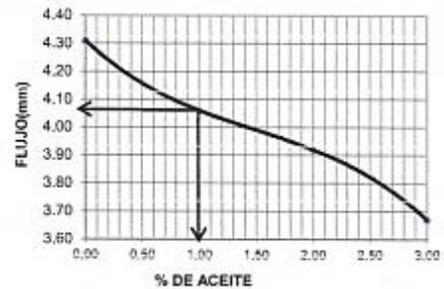
% DE VACIOS



ESTABILIDAD



FLUJO



GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Cimentación y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81792



GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES-
SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFALTICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU, DEPARTAMENTO DE PUNO

TESISTAS: JHON ANGEL, TICONA CHAMBI Y ZULEMA, HUAMAN CHOQUEHUANCA

MUESTRA : TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA

TECN. RESPONS. : PERSONAL LABORATORIO

TEMPERATURA : 75°

ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE (ASTM D-422)

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	% ACEITE	FECHA DE:		EDAD (Días)	AREA (cm2)	CARGA (Kg)	ROTURA (Kg/cm2)
			MOLDEO	ROTURA				
1	TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA	0	7/06/24	8/06/24	1	78.54	635	8.1
2	TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA	1	7/06/24	8/06/24	1	78.54	672	8.6
3	TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA	2	7/06/24	8/06/24	1	78.54	634	8.1
4	TESTIGOS DE MEZCLA ASFALTICA	3	7/06/24	8/06/24	1	78.54	586	7.5
	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX							

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Suelos, Pavimentos, Cimentaciones y Obras de Infraestructura

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR 34732

Anexo 13: Ensayos del Aceite



LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LOA – 00924

I. DATOS DEL SERVICIO

CLIENTE : ZULEMA HUAMAN CHOQUEHUANCA
JHON ANGEL TICONA CHAMBI

PROYECTO : USO DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ EN LA MEZCLA ASFÁLTICA
PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA
CARRETERA DE SAN ANTONIO DE PUTINA HASTA QUILCAPUNCU,
DEPARTAMENTO DE PUNO

II. DATOS DEL ENSAYO

Muestra : Aceite
Fecha de recepción : 12 de marzo del 2024
Numero de muestras : 01/02
Fecha de ensayo : 13 de marzo del 2024
Muestreado por : El cliente
Ubicación, fecha y hora de muestreo

Código	Dist. /Prov./ Depart.	Ubicación	Fecha y hora de muestreo
M1	Juliaca/ San Román /Puno	E: 377747.14 N: 8288008.31	02/03/2024 11:02 a.m.

III. MÉTODO DE ENSAYO

N°	PARÁMETRO	UNIDAD	METODOLOGÍA
1	Viscosidad a 40°C	g/cm ³	Viscosímetro
2	Gravedad	g/cm ³	ASTM D368
3	Peso Especifico	Kg/L	Gravimétrico
4	% de agua	%	Gravimétrico
5	Sedimentos	%	ASTM D473
6	Benceno (insoluble)	%	ASTM 893
7	Gasolina (soluble)	%	ASTM D325
8	Punto de Ignición	°C	ASTM D92
9	Poder Calorífico	MJ/Kg	Viscosímetro



1/4

Jr. Deústua N° 522 Urb. 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

IV. DATOS DEL RESULTADO

Nº	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO (M1)
1	Viscosidad a 40°C	g/cm ³	84.2
2	Gravedad	g/cm ³	20.0
3	Peso Especifico	Kg/L	0.725
4	% de agua	%	0.83
5	Sedimentos	%	2.0
6	Benceno (insoluble)	%	2.68
7	Gasolina (soluble)	%	4.32
8	Punto de Ignición	°C	83.41
9	Poder Calorífico	MJ/Kg	42.364

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Ing. Karen Kelly Quispe Quispe
CIP. 194084
GERENTE

Fecha de emisión
18/03/2024

Responsable de laboratorio

2/4

Anexo 14: Calibración de equipos



AG4
INGENIERIA & METROLOGIA S.R.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CFT-022-2024

Solicitante : GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Dirección : JR. TIAHUANACO MZA. H LOTE. 17 RES. COLLASUYO I E
- PUNO - SAN ROMAN - JULIACA

Instrum. de Medición : MÁQUINA DE LOS ANGELES

Marca : PINZUAR

Modelo : PC-117

Serie : 1345

Procedencia : COLOMBIA

Identificación : NO INDICA

Cap. Max. : 99999 Vueltas

Fecha de Calibración : 2024-01-30

Fecha de Emisión : 2024-01-31

Método de Calibración Empleado
La calibración se realizó por comparación entre las indicaciones de lectura del indicador digital de la máquina los angeles con el tacómetro patrón, se uso tambien una balanza calibrada para el peso de las esferas, tomando como referencia el método de ensayo de materiales (EM 2000) ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS MTC E 207 - 2000 Y LA NORMA ASTM C 131 - 1 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine¹.

Incertidumbre:
La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura	20,9 °C	20,9 °C
Humedad Relativa	48 %HR	48 %HR

Observaciones:

- La máquina dispone de 12 esferas de fierro los cuales han sido verificadas en su peso y diámetro.
- Las mediciones mostradas en el cuadro de resultados es de un promedio de tres lecturas
- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.

(*) Código asignado por AG4 INGENIERIA & METROLOGIA S.R.L.



Luis G. G. C.
Jefe de Metrología

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

 01 622 5224
  997 045 343
  ventasag4ingenieria@gmail.com
  www.ag4ingenieria.com
  961 739 849
  ventas@ag4im.com
  955 851 191

LABORATORIO DE METROLOGÍA



AG4

INGENIERÍA & METROLOGÍA S.R.L.

Certificado de Calibración CFT-022-2024

Página 2 de 2

PATRONES DE REFERENCIA:

2

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de referencia	Tacómetro	Y's-0184-2024
Patrón de referencia	Pie de rey	L-0458-2024

INDICACIÓN TACÓMETRO PATRON (RPM)	INCERTIDUMBRE (RPM)
31.47	1

Resultados de Medicion:

	DIAMETROS DE LAS ESFERAS (mm)	DIAMETROS DE LAS ESFERAS (mm)	PROMEDIO (mm)	INCERTIDUMBRE (mm)
	46.38 mm - 47.63 mm	46.38 mm - 47.63 mm		
	LECTURA 1	LECTURA 2		
1	46.68	46.67	46.68	0.03
2	46.68	46.69	46.69	0.03
3	46.64	46.63	46.64	0.03
4	46.66	46.64	46.65	0.03
5	46.56 2022-06-01	46.55	46.56	0.03
6	46.74 2022-06-01	46.71	46.73	0.03
7	46.67	46.65	46.66	0.03
8	46.64	46.65	46.65	0.03
9	46.68	46.62	46.65	0.03
10	46.67	46.69	46.68	0.03
11	46.66	46.72	46.69	0.03
12	46.66	46.68	46.67	0.03

	PESO DE LAS ESFERAS (g)	INCERTIDUMBRE (g)
	390 g - 445 g ± 1g	
1	415.54	0.1
2	415.83	0.1
3	416.74	0.1
4	416.13	0.1
5	416.94	0.1
6	416.08	0.1
7	416.20	0.1
8	416.74	0.1
9	416.73	0.1
10	416.64	0.1
11	415.40	0.1
12	416.39	0.1
Masa Total	4995.36	



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

☎ 01 622 5224

☎ 997 045 343

✉ ventasag4ingenieria@gmail.com

🌐 www.ag4ingenieria.com

☎ 961 739 849

✉ ventas@ag4im.com

☎ 955 851 191



**CERTIFICADO DE CALIBRACION
LM-020-2024**

Expediente S-0260-2024
Solicitante GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Dirección JR. TIAHUANACO MZA. H LOTE. 17 RES. COLLASUYO I E - PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
Equipo de Medición BALANZA NO AUTOMÁTICA
Marca OHAUS
Modelo R21PE30ZH
Serie 8341130557
Identificación NO INDICA
Procedencia NO INDICA
Capacidad Máxima 30000 g
División de escala (d) 1 g
División de verificación (e) 10 g
Tipo ELECTRONICA
Ubicación LAB. DE ENSAYOS SOLICITANTE
Fecha de Calibración 2024-01-30

Método de Calibración

Comparación Directa. Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y Clase IIII. PC - 001 del SNM-INDECOPI, Tercera Edición enero 2010.

Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	14.6 °C	14.5 °C
Humedad Relativa	43 %	42 %

Sello

Fecha de emisión

Jefe de Metrología

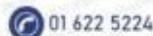


2024-01-31

(Signature)
Luigi Asenjo S.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

Página 1 de 4
EM001(0)



01 622 5224



997 045 343
961 739 849
955 851 191



ventasag4ingenieria@gmail.com
ventas@ag4im.com



www.ag4ingenieria.com



**CERTIFICADO DE CALIBRACION
LM-020-2024**

Observaciones

Los Errores Máximos Permitidos (emp) mostrados en este documento corresponden a los emp para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III según NMP:003:2009 - 2da Edición

Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.

Automático; el límite inferior (capacidad mínima) de medida para esta balanza no debe ser menor a 20 g

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales que materializan las unidades físicas de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
Patrón de referencia	Pesa de 20 Kg	1AM-0292-2022
Patrón de referencia	Pesa de 10 Kg	1AM-0291-2022
Patrón de referencia	Pesa de 5 Kg	LM-C-107-2022
Patrón de referencia	Pesa de 2 Kg	LM-C-105-2022
Patrón de referencia	Juego de pesas	0005-CLM-2023 // 0040-LM-2023

INSPECCIÓN VISUAL

Ajuste de cero	TIENE	Escala	NO TIENE
Oscilación Libre	TIENE	Cursor	NO TIENE
Plataforma	TIENE	Nivelación	TIENE
Sistema de traba	TIENE		

Fecha de Calibración	2023-09-30
Identificación de la balanza	NO INDICA
Ubicación de la balanza	LAB. DE ENSAYOS SOLICITANTE JAHUANACO MZA. H LOTE. 17 RES. COLLASUYO I E - PUNO - SAN ROMAN - JUL



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

Página 2 de 4
EM01-01



**CERTIFICADO DE CALIBRACION
LM-020-2024**

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD



VISTA FRONTAL

N°	Determinación del Eo				Determinación del Error corregido Ec					
	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	emp (g)
1	10	10	0.3	0.2	10,000	10,001	0.2	1.3	1.1	20
2		10	0.3	0.2		10,001	0.2	1.3	1.1	
3		10	0.3	0.2		10,001	0.2	1.3	1.1	
4		10	0.3	0.2		10,001	0.2	1.3	1.1	
5		10	0.3	0.2		10,001	0.2	1.3	1.1	

- emp Error Máximo Permitido
- I Indicación del instrumento
- E Error encontrado
- Ec Error corregido
- Eo Error en cero
- ΔL Carga incrementada

Los emp para balanzas en uso de funcionamiento no automático de Capacidad Máxima: 30000 g, División de verificación (e): 10 g y clase de exactitud III, según Norma Metrológica: Instrumento de Funcionamiento No Automático NMP:003:2009 - 2da Edición, es:

Intervalo		emp
0 g	a 5000 g	10 g
5000 g	a 20000 g	20 g
20000 g	a 30000 g	30 g

LECTURA CORREGIDA E INCERTIDUMBRE DE LA BALANZA

$$Lectura\ corregida = R + 0.000009320 \times R$$

$$Incertidumbre\ Expandida = 2 \times \sqrt{0.2500\ g^2 + 0.00000000006314 \times R^2}$$

R Lectura, cualquier indicación obtenida después de la calibración.



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CF-024-2024

Pág. 1 de 3

OBJETO DE PRUEBA:	MAQUINA DE ENSAYOS MARSHALL Y CBR			
Capacidad	5 000 kgf			
Dirección de carga	Ascendente			
FABRICANTE	METROTEST			
Modelo	MA-75			
Serie	160			
Indicador Digital (modelo // Serie)	HIGH WEIGHT//315-X6//0215478			
Celda de Carga (modelo // Serie)	SG-ST // J160927921			
Codigo Identificacion	NO INDICA			
Norma utilizada	ASTM E4 // ISO 7500-1			
Temperatura de prueba °C	Inicial	22.8	Final	23.2
Inspección general	La prensa se encuentra en buen estado de funcionamiento			
Intervalo calibrado	De 500 a 5000 kgf		10% al 100%	
Solicitante	GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.			
Dirección	JR. TIAHUANACO MZA. H LOTE. 17 RES. COLLASUYO I E - PUNO - SAN ROMAN - JULIACA			
PATRON(ES) UTILIZADO(S)	Tipo / Modelo	CELDA DE CARGA		
	No. serie	WC163917 // MTT-050		
	Certif. de calibr.	INF-LE 168-21 PUCP		
Unidades de medida	Sistema Internacional de Unidades (SI)			
FECHA DE CALIBRACION	2024-01-30			
FECHA DE EMISION	2024-01-31			
FIRMAS AUTORIZADAS				

Jefe de Metrologia
Luigi Asenjo G.



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERÍA Y METROLOGÍA S.R.L.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CF-024-2024

Pág. 2 de 3

Método de calibración : FUERZA INDICADA CONSTANTE

DATOS DE CALIBRACIÓN

ESCALA : 49.03 kN Resolución: 0.001 kN Dirección de la carga: Ascendente
5000.0 kgf 0.1 kgf Factor de conversión: 0.00981 kN/kgf

Indicación de la máquina (F)			Indicaciones del patrón (series de mediciones)				
%	kN	kgf	0°	120°	No aplica	240°	Accesorios
			kN	kN	kN	kN	kN
10	4.90	500	4.89	4.89	No aplica	4.89	No aplica
20	9.81	1 000	9.78	9.78	No aplica	9.77	No aplica
30	14.71	1 500	14.70	14.71	No aplica	14.70	No aplica
40	19.61	2 000	19.71	19.71	No aplica	19.71	No aplica
50	24.52	2 500	24.59	24.59	No aplica	24.59	No aplica
60	29.42	3 000	29.53	29.53	No aplica	29.53	No aplica
70	34.32	3 500	34.47	34.47	No aplica	34.46	No aplica
80	39.23	4 000	39.42	39.43	No aplica	39.42	No aplica
90	44.13	4 500	44.38	44.38	No aplica	44.37	No aplica
100	49.03	5 000	49.05	49.05	No aplica	49.04	No aplica
Indicación después de carga :			0.00	0.00	0.00	0.00	No aplica

ESCALA : 049.03 kN Incertidumbre del patrón 0.096 %

Indicación de la máquina (F)			Cálculo de errores relativos				Resolución
%	kN	kgf	Exactitud	Repetibilidad	Reversibilidad	Accesorios	
			q (%)	b (%)	v (%)	Acces. (%)	a (%)
10	4.90	500	0.31	0.10	No aplica	No aplica	0.02
20	9.81	1 000	0.31	0.08	No aplica	No aplica	0.01
30	14.71	1 500	0.04	0.05	No aplica	No aplica	0.01
40	19.61	2 000	-0.49	0.04	No aplica	No aplica	0.01
50	24.52	2 500	-0.30	0.03	No aplica	No aplica	0.00
60	29.42	3 000	-0.37	0.03	No aplica	No aplica	0.00
70	34.32	3 500	-0.41	0.02	No aplica	No aplica	0.00
80	39.23	4 000	-0.50	0.02	No aplica	No aplica	0.00
90	44.13	4 500	-0.55	0.02	No aplica	No aplica	0.00
100	49.03	5 000	-0.03	0.02	No aplica	No aplica	0.00

Error de cero fo (%) 0,000 0,000 0,000 No aplica Err máx.(0) = 000

FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrología
Luigi Azenjo



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERÍA Y METROLOGÍA S.R.L.

01 622 5224

997 045 343

ventas@4ingenieria@gmail.com

www.ag4ingenieria.com

961 739 849

ventas@ag4im.com

955 851 191



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CF-024-2024

Pág. 3 de 3

CLASIFICACIÓN DE

MAQUINA DE ENSAYOS MARSHALL Y CBR

ESCALA 5 000 kgf

Error de exactitud 0.31 %

Error de repetibilidad 0.10 %

Error de Reversibilidad No aplica

Error de cero 0

Error por acces 0 %

Resolución 0.01 En el 20 %

De acuerdo con los datos anteriores y según las prescripciones de la norma, ISO 7500-1.

ESCALA 5 000 kgf Ascendente

TRAZABILIDAD

AG4 INGENIERIA & METROLOGIA SRL, asegura el mantenimiento y la trazabilidad de sus patrones de trabajo utilizados en las mediciones, los cuales han sido calibrados y certificados por la Pontificia Universidad Católica de Peru.

OBSERVACIONES .

- 1. Los cartas de calibración sin las firmas no tienen validez .
2.El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre dos verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (ISO 7500-1).
3. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (ISO 7500-1).
4. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Los resultados contenido parcialmente en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos .

FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrologia

Luigi Asenjo G.



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

DI 622 5224

997 045 343

ventasag4ingenieria@gmail.com

www.ag4ingenieria.com

961 739 849

ventas@ag4im.com

955 851 191

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CF-023-2024

Pág. 2 de 3

Método de calibración : FUERZA INDICADA CONSTANTE

DATOS DE CALIBRACIÓN

ESCALA : 1000.0 kN Resolución: 0.10 kN Dirección de la carga: Ascendente
 101 972 kgf 10 kgf Factor de conversión: 0.0098 kN/kgf

Indicación de la máquina (F _i)	Indicaciones del instrumento patrón							
	%	kN	kgf	0°	120°	No aplica	240°	Accesorios
10	98.07	10 000	10 000	97.1	96.9	No aplica	97.9	No aplica
20	196.13	20 000	20 000	195.2	195.1	No aplica	196.0	No aplica
30	294.20	30 000	30 000	293.7	293.6	No aplica	294.3	No aplica
40	392.27	40 000	40 000	392.1	392.0	No aplica	392.7	No aplica
50	490.33	50 000	50 000	490.7	490.7	No aplica	491.2	No aplica
60	588.40	60 000	60 000	587.8	588.1	No aplica	588.4	No aplica
70	686.46	70 000	70 000	685.0	685.1	No aplica	685.4	No aplica
80	784.53	80 000	80 000	782.3	782.3	No aplica	782.4	No aplica
Indicación después de carga :				0.00	0.00	0.00	0.00	No aplica

ESCALA : 1000.00 kN Incertidumbre del patrón: 0.086 %

Indicación de la máquina (F _i)	Cálculo de errores relativos						Resolución	
	%	kN	kgf	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)		Acces. (%)
10	98.07	10 000	10 000	0.79	0.97	No aplica	No aplica	0.10
20	196.13	20 000	20 000	0.36	0.47	No aplica	No aplica	0.05
30	294.20	30 000	30 000	0.12	0.25	No aplica	No aplica	0.03
40	392.27	40 000	40 000	-0.01	0.18	No aplica	No aplica	0.03
50	490.33	50 000	50 000	-0.11	0.11	No aplica	No aplica	0.02
60	588.40	60 000	60 000	0.05	0.12	No aplica	No aplica	0.02
70	686.46	70 000	70 000	0.19	0.05	No aplica	No aplica	0.01
80	784.53	80 000	80 000	0.28	0.02	No aplica	No aplica	0.01
Error de cero fo (%)				0,000	0,000	0,000	No aplica	Err máx.(0) = 000

FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrología
Luigi Asenjo

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

☎ 01 622 5224

☎ 997 045 343

✉ ventasag4ingenieria@gmail.com

🌐 www.ag4ingenieria.com

☎ 961 739 849

✉ ventas@ag4im.com

☎ 955 851 191



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CF-023-2024

Pág. 3 de 3

CLASIFICACIÓN DE MÁQUINA PARA ENSAYOS DE CONCRETO

Errores relativos máximos absolutos hallados

ESCALA	101972.0	kgf		
Error de exactitud	0.79 %		Error de cero	0
Error de repetibilidad	0.97 %		Error por accesorios	0 %
Error de Reversibilidad	No aplica		Resolución	0.05 En el 20 %

De acuerdo con los datos anteriores y según las prescripciones de la norma ISO 7500-1, la máquina de ensayos se clasifica:

ESCALA 101 972 kgf Ascendente

TRAZABILIDAD

AG4 INGENIERIA & METROLOGIA S.R.L., asegura el mantenimiento y la trazabilidad de sus patrones de trabajo

utilizados en las mediciones, los cuales han sido calibrados por la Pontificia Universidad Catolica de Peru.

OBSERVACIONES .

1. Los cartas de calibración sin las firmas no tienen validez .
2. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre dos verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (ISO 7500-1).
3. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (ISO 7500-1).
4. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Los resultados contenido parcialmente en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos .

FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrología
Luigi Asenjo FUERZA

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

01 622 5224

997 045 343

ventasag4ingenieria@gmail.com

www.ag4ingenieria.com

961 739 849

ventas@ag4im.com

955 851 191



**CERTIFICADO DE CALIBRACION
CL-025-2024**

Solicitante : GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Dirección : JR. TIAHUANACO MZA. H LOTE. 17 RES. COLLASUYO I E - PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
Equipo de Medición : VIGA BENKELMAN
Marca : ORION
Modelo : NO INDICA
Serie : 19030604
Identificación : NO INDICA
Procedencia : PERÚ
Relación de Brazos : 01:04
Fecha de calibración : 2024-01-30
Fecha de Emisión : 2024-01-31

Método de Calibración Empleado

La calibración se realizó tomando como referencia el método de comparación Directa entre las indicaciones del reloj comparador y bloques patrón planoparalelos utilizando como referencia la Norma ASTM D 4695 "standad guide for general pavement deflection measurements".

Resultados de las Mediciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en las siguientes páginas del presente documento.

La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura	19.9 °C	20.1 °C
Humedad Relativa	62 %	60 %

Observaciones:

• La Viga Benkelman trabaja con 2 diales ó relojes comparadores que son:

Marca : MITUTOYO	Marca : MITUTOYO
Modelo : 2050S	Modelo : 2050S
Serie : ZHZ438	Serie : ZLU470
Alicance : 20 mm	Alicance : 20 mm
Div.min : 0,01 mm	Div.min : 0,01 mm
Proced. : NO INDICA	Proced. : NO INDICA
Cod. Ident. : NO INDICA	Cod. Ident. : NO INDICA
Tipo : ANALÓGICO	Tipo : ANALÓGICO

Luigi Anelija G.
 Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.



PATRONES DE REFERENCIA:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de referencia de DM-INACAL	Bloques Planoparalelos de Grado 0	LLA - C - 003 - 2024
Patrón de referencia	Pie de rey	L-0458-2024
Patrón de referencia	Cinta Métrica	L-0459-2024

RESULTADOS

BRAZO 1

Bloques planoparalelos		Indicaciones del Dial (Reloj comparador)					Relación de brazos
(pulg.)	(mm)	1	2	3	Promedio (mm)		
0.1	2.54	0.63	0.63	0.63	0.63	4.01	
0.2	5.08	1.26	1.26	1.26	1.26	4.03	
0.3	7.62	1.92	1.93	1.92	1.92	3.96	
0.4	10.16	2.56	2.58	2.57	2.57	3.99	

Dimensión pivote a dial	55 cm
Dimensión brazo a pivote	219.3 cm
Relación de Brazos Teórico	3.99
Relación de Brazos calculado	4.00

BRAZO 2

Bloques planoparalelos		Indicaciones del Dial (Reloj comparador)					Relación de brazos
(pulg.)	(mm)	1	2	3	Promedio (mm)		
0.1	2.54	0.63	0.64	0.63	0.63	4.01	
0.2	5.08	1.28	1.27	1.28	1.28	3.98	
0.3	7.62	1.93	1.93	1.94	1.93	3.99	
0.4	10.16	2.55	2.54	2.55	2.55	3.99	

Dimensión pivote a dial	61 cm
Dimensión brazo a pivote	244.3 cm
Relación de Brazos Teórico	4.00
Relación de Brazos calculado	3.99

Luigi Asensio S.
 Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERÍA Y METROLOGÍA S.R.L.