

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la
carretera AP 617, Abancay – Apurímac 2023**

Asesor:

Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Ayquipa Roman, Ruth Raquel

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 056

En la ciudad de Abancay, a los veinte dos días del mes de agosto del 2025, siendo las 4:00 pm horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0693-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 14 de agosto del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MS.c. Ing. Maldonado Mendivil, Angel
Dictaminante :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Replicante :	Dr. Alarcón Camacho, Erick

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay – Apurímac 2023

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

Br: Ayquipa Roman, Ruth Raquel

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

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

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Ayquipa Roman, Ruth Raquel	Aprobada

Siendo las 5:15pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MS.c. Ing. Maldonado Mendivil, Angel

()

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

()

Replicante: Dr. Alarcón Camacho, Erick

()

Abancay 26 de agosto del 2025

Se expuso la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 353

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

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RUGA1.
(**) D a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




20% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 17%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

Metadatos

Datos del autor	
Apellidos y Nombres	: Bach. Ayquipa Roman, Raquel
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 7526415
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0002-1897-8413
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 06532658
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023-2024
Fuente de financiamiento	: Propio
Porcentaje de similitud	: 20 %
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A Dios, mi familia quienes con su dedicación su amor, esfuerzo constante y entrega diaria han sido el soporte esencial en mi vida.

A mis compañeros, por su compañía leal, por brindarme aliento en los momentos difíciles y por compartir conmigo alegrías y logros.

A mis guías académicos, por transmitir su conocimiento con compromiso y por orientarnos con paciencia en cada etapa. Agradezco profundamente su ejemplo y el haber despertado en mí el deseo de superación constante.

Y, por último, a todos quienes, de alguna forma, aportaron con su apoyo y aliento a la construcción de este sueño. Esta tesis representa el fruto de su generosidad, respaldo y presencia constante.

Agradecimiento

Agradezco profundamente a Dios por darme la vida, la fortaleza y la constancia necesarias para alcanzar esta meta. Extiendo también mi sincera gratitud a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis. En especial, al Ph. D. Abbon Alex Vásquez Ramírez, por su orientación, compromiso y valioso acompañamiento durante todo el proceso.

Agradezco a los miembros del jurado evaluador por sus observaciones y aportes que enriquecieron este trabajo.

A mis docentes y compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por contribuir a un entorno académico motivador y colaborativo.

Y, finalmente, a mi familia, por su apoyo incondicional, su fe en mí y por acompañarme con amor y paciencia a lo largo de este camino.

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito principal analizar el efecto del aditivo residual de motor (ARM) en la mejora de las propiedades del afirmado de la carretera AP-617, con el objetivo de optimizar la infraestructura vial y promover el desarrollo sostenible en la zona de intervención. Se evaluaron parámetros esenciales como la plasticidad, la densidad seca máxima y el índice de soporte California (CBR), considerados indicadores clave para determinar la capacidad portante y la estabilidad del suelo. El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado con diseño experimental, realizándose doce muestreos en los tramos más críticos de la vía, donde se identificaron deficiencias estructurales. Para garantizar la representatividad de los resultados, se utilizó material de una cantera local, clasificado y designado como muestra patrón. En el laboratorio se efectuaron los ensayos de granulometría, plasticidad, densidad máxima seca y CBR, tanto en su condición natural como con la incorporación del ARM, siguiendo los procedimientos establecidos en las normas técnicas vigentes. Los resultados indicaron que la adición del aceite residual produjo un ligero incremento en la plasticidad, de 5.93% a 6.10%, y en la densidad seca, de 2.183 g/cm³ a 2.196 g/cm³. Sin embargo, el valor del CBR al 100% mostró un incremento significativo, de 46.5% a 55.5%, evidenciando una mayor resistencia del afirmado tratado. En síntesis, el empleo del ARM constituye una alternativa técnica y ambientalmente viable que mejora el comportamiento mecánico del suelo y contribuye al aprovechamiento sostenible de residuos industriales.

Palabras clave: Aceite, Afirmado, California Bearing Ratio, Estabilización

Abstract

The present research aimed to analyze the effect of the Engine Residual Additive (ERA) on improving the properties of the road base layer of the AP-617 highway, with the objective of optimizing road infrastructure and promoting sustainable development in the area of intervention. Essential parameters such as plasticity, maximum dry density, and the California Bearing Ratio (CBR) were evaluated, as these are key indicators used to determine the soil's load-bearing capacity and stability. The study was conducted under an applied approach with an experimental design, involving twelve samplings in the most critical sections of the road where structural deficiencies were identified. To ensure the representativeness of the results, material from a local quarry was used, classified, and designated as the control sample. Laboratory tests included grain size distribution, plasticity, maximum dry density, and CBR, both in their natural condition and with the incorporation of the ERA, following the procedures established by current technical standards. The results indicated that the addition of the residual oil produced a slight increase in plasticity, from 5.93% to 6.10%, and in dry density, from 2.183 g/cm³ to 2.196 g/cm³. However, the CBR value at 100% showed a significant increase, from 46.5% to 55.5%, demonstrating greater strength in the treated base layer. In summary, the use of ERA represents a technically and environmentally viable alternative that enhances the mechanical performance of the soil and contributes to the sustainable utilization of industrial waste.

Keywords: Oil, Asphalt, California Bearing Ratio, Stabilization

Índice General

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice General	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos	xiv
I. Introducción	15
II. Planteamiento del problema	17
2.1. Descripción y formulación del problema	17
2.2. Objetivos	19
2.2.1. Objetivo General	19
2.2.2. Objetivos Específicos	19
2.3. Justificación e importancia.....	20
2.4. Hipótesis	20
2.5. Variables.....	21
III. Marco teórico	23
3.1. Antecedentes	23
3.2. Bases teóricas	32

3.3. Definición de términos	50
IV. Metodología.....	53
4.1. Tipo y nivel de investigación	53
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	53
4.3. Población y muestra	54
4.4. Instrumentos	57
4.5. Procedimientos	58
4.6. Análisis de datos.....	59
4.7. Consideraciones éticas	60
V. Resultados y discusión	61
5.1. Resultados	61
5.2. Discusiones.....	79
VI. Conclusiones	83
VII. Recomendaciones	85
VIII. Referencias.....	86
IX. Anexos	91

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables	22
Tabla 2 Niveles básicos de transitabilidad.....	34
Tabla 3 Efectividad de estabilidad.....	36
Tabla 6 Ejemplo de límite plástico	41
Tabla 7 Categoría del afirmado	45
Tabla 8 Penetraciones a ser leídas	48
Tabla 9 Presión de penetración.....	49
Tabla 10 Dosificación de muestras para análisis granulometría del suelo patrón	55
Tabla 11 Dosificación de muestras para ensayo de plasticidad del suelo patrón	55
Tabla 12 Dosificación de muestras para ensayo de plasticidad con aditivo oleoso residual	56
Tabla 13 Dosificación de muestras para ensayo de Proctor modificado del suelo patrón .	56
Tabla 14 Dosificación de muestras para ensayo de Proctor modificado con aditivo oleoso residual reutilizado	56
Tabla 15 Dosificación de muestras para ensayo CBR del suelo patrón	57
Tabla 16 Dosificación de muestras para ensayo CBR con aditivo oleoso residual.....	57
Tabla 17 Instrumentos utilizados para cada ensayo.	58
Tabla 16 Resultados de influencia del aceite residual en la plasticidad del afirmado.....	61
Tabla 17 Resultados de influencia del aditivo oleoso residual en la densidad máxima seca del afirmado.....	62
Tabla 18 Resultados de influencia del aditivo oleoso en la densidad máxima seca del afirmado.....	64
Tabla 19 Resultados de influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado.	65
Tabla 20 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al índice de plasticidad del afirmado ...	66

Tabla 21 Prueba de homogeneidad de varianzas al índice de plasticidad	67
Tabla 22 Prueba ANOVA al índice de plasticidad del afirmado.....	67
Tabla 23 Comparaciones múltiples por TUKEY al índice de plasticidad del afirmado	68
Tabla 24 Prueba de normalidad en la máxima densidad seca del afirmado	69
Tabla 25 Prueba de homogeneidad de varianzas a la máxima densidad seca del afirmado	70
Tabla 26 Prueba ANOVA a la máxima densidad seca del afirmado.....	70
Tabla 27 Comparaciones múltiples por TUKEY a la máxima densidad seca del afirmado	71
Tabla 28 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al CBR del 95% de la MDS del afirmado	72
Tabla 29 Prueba de homogeneidad de varianzas al California Bearing Ratio (CBR) del 95% de la MDS del afirmado.....	73
Tabla 30 Prueba ANOVA al CBR del 95% de la MDS del afirmado.....	74
Tabla 31 Comparaciones múltiples por TUKEY al CBR del 95% de la MDS del afirmado	75
Tabla 32 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al CBR del 100% de la MDS del afirmado	76
Tabla 33 Prueba de homogeneidad de varianzas al CBR del 100% de la MDS del afirmado	76
Tabla 34 Prueba ANOVA al CBR del 100% de la MDS del afirmado.....	77
Tabla 35 Comparaciones múltiples por TUKEY al CBR del 100% de la MDS del afirmado	78

Índice de figuras

Figura 1 Sistema Unificado de Clasificación de suelos	35
Figura 2 Tipos de suelo según la clasificación SUCS	37
Figura 3 Gráfica de Límite Líquido.....	40
Figura 4 Gráfica de plasticidad.....	42
Figura 5 Equipo CBR	47
Figura 6 Curva esfuerzo vs penetración	49
Figura 7 Resultados de influencia del aditivo oleoso residual en la plasticidad del afirmado	62
Figura 8 Resultados de influencia del aditivo oleoso residual en la máxima densidad seca del afirmado.....	63
Figura 9 Resultados de influencia del aditivo oleoso residual en el CBR del afirmado	64
Figura 10 Resultados de influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado	65
Figura 11 Análisis comparativo de valores del índice de plasticidad	79
Figura 12 Análisis comparativo de valores de densidad máxima seca.	80
Figura 13 Análisis comparativo de valores del CBR	81

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	92
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables	93

I. Introducción

La ausencia de pavimentación convierte a las carreteras afirmadas en superficies altamente vulnerables a los procesos de erosión, sobre todo durante periodos de lluvias intensas, lo que ocasiona un progresivo desgaste del material y la aparición de deslizamientos. La acumulación de polvo y fragmentos pétreos sobre la vía reduce de manera significativa la adherencia de los neumáticos, elevando la probabilidad de accidentes de tránsito. Asimismo, la carencia de sistemas de drenaje y control adecuados acelera el deterioro de la capa superficial, afectando la visibilidad y comprometiendo las condiciones de seguridad vial. En el contexto peruano, este tipo de vías constituye una infraestructura frecuente en zonas rurales debido a su bajo costo de construcción y mantenimiento; sin embargo, presentan limitaciones notorias en cuanto a funcionalidad, durabilidad y seguridad operativa, factores que repercuten directamente en la conectividad y el desarrollo socioeconómico de las comunidades que dependen de ellas.

La falta de mantenimiento periódico, sumada a los efectos de la erosión, ha generado un deterioro progresivo en la superficie de rodadura, manifestado en la formación de baches, fisuras y deformaciones estructurales. Estas condiciones no solo dificultan la circulación vehicular, sino que también incrementan la probabilidad de accidentes y los costos asociados a las labores de conservación. La presente investigación centra su análisis en la carretera AP-617, localizada en la ciudad de Abancay, Perú, considerada una vía estratégica para la integración territorial y el fortalecimiento del desarrollo económico regional. En la actualidad, este tramo presenta un avanzado grado de deterioro, evidenciado por la presencia de hundimientos, deslizamientos y deficiencias en la señalización vial, elementos que han incidido directamente en la ocurrencia de siniestros de tránsito.

Ante este panorama, la investigación plantea la aplicación de un aditivo oleoso residual reutilizado como alternativa técnica para la mejora del afirmado, con el propósito

de optimizar la infraestructura vial y contribuir al bienestar de la población mediante una movilidad más segura y eficiente. Asimismo, esta propuesta se orienta a promover prácticas sostenibles, ya que fomenta la reutilización de residuos industriales y la reducción del impacto ambiental, alineándose con los principios del desarrollo sostenible y con la necesidad de implementar soluciones que combinen eficiencia técnica, responsabilidad ambiental y beneficio social.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Las carreteras afirmadas enfrentan diversos problemas técnicos y estructurales que afectan su funcionalidad y seguridad. En Colombia, estas vías se encuentran entre las más lentas del mundo debido a construcciones de baja calidad; el 45% de estas carreteras están en mal estado (Lopez, 2022). En Chile, el 60% de los caminos no están pavimentados, con las regiones VIII y IX liderando el déficit. De los más de 80 mil kilómetros de la red vial del país, 48 mil son afirmados (Miranada et al., 2017). En Bolivia, hasta el 2019, de los 189.850 kilómetros de carreteras, al menos 49.668 kilómetros son caminos de ripio, 102.088 kilómetros son afirmados y 4.051 kilómetros están empedrados (Opinión Bolivia, 2023).

La falta de pavimentación hace que las carreteras afirmadas sean vulnerables a la erosión, especialmente durante lluvias intensas, lo que provoca desgaste y deslizamientos del suelo, comprometiendo su estabilidad. La acumulación de polvo y piedras sueltas, resultado de la ausencia de revestimiento asfáltico, reduce la adherencia de los neumáticos, incrementando el riesgo de accidentes. Además, la carencia de sistemas de drenaje adecuados genera inundaciones y charcos, deteriorando la superficie y disminuyendo la visibilidad del conductor. Estos problemas hacen que las carreteras afirmadas sean propensas a daños significativos, afectando la seguridad en la vía y disminuyendo la efectividad del sistema de transporte. Para mitigar estos problemas, es necesario un mantenimiento constante que garantice un tránsito seguro y fluido (Gutiérrez, 2017).

A ello se suma el problema del manejo inadecuado de aceites residuales, como lubricantes y aceites de cocina, los cuales generan impactos ambientales significativos. Estos residuos contaminan los cuerpos de agua, obstruyen los sistemas de drenaje y representan un riesgo para la salud pública. En países como Colombia, Chile, Bolivia y Perú, su mala

disposición genera altos costos ambientales y económicos (Muñoz et al., 2017; Naranjo, 2021; Green Solutions, 2020; OMS, 2017).

En Perú, particularmente en zonas rurales, las carreteras afirmadas son ampliamente utilizadas debido a su bajo costo de construcción y rápida ejecución. Sin embargo, la ausencia de labores de mantenimiento, tanto preventivas como correctivas, provoca un deterioro acelerado y considerable de la vía, disminuyendo su capacidad estructural y generando un impacto negativo en el transporte, la economía local y el bienestar de la población (Sotil, 2014).

En este escenario, la vía AP 617 ubicada en el distrito de Cachora, provincia de Abancay, región Apurímac, se encuentra en un estado crítico. El tramo comienza en las coordenadas E: 737853.491, N: 8502208.14 y finaliza en E:735958.00, N:8504220.00. Esta carretera de 16 kilómetros, es acceso del complejo arqueológico de Saywite con el distrito San Pedro de Cachora punto inicio hacia el nevado Padreyoc y la ciudadela de Choquequirao, es una vía estratégica para el turismo, la agricultura y el comercio regional. Está afectada constantemente por baches, graduales, derrumbes y la ausencia de señalización, a pesar de las inversiones anuales de mantenimiento realizadas por la Municipalidad Provincial de Abancay y Provias Descentralizadas, en el marco del Decreto Supremo N° 034-2028-MTC.

Ante esta situación, se hace imprescindible explorar opciones alternativas que permitan fortalecer la resistencia y prolongar la vida útil del suelo afirmado. Una posible estrategia es el aprovechamiento de residuos industriales, como aditivo oleoso residual reutilizado, el cual podría contribuir a estabilizar el material granular, reducir la pérdida de partículas y mejorar el comportamiento estructural del afirmado. En el desarrollo de esta tesis se analizó cómo incide la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en las

propiedades del suelo afirmado del tramo Saywite - Cachora, AP 617, como una opción sostenible y de bajo costo para mejorar el desempeño vial en contextos rurales.

2.1.1. Problema general

- ¿Cuál será la influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac - 2023?

2.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023?
- ¿Cuál es la influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en la máxima densidad seca del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023?
- ¿Cuál es la influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en la capacidad resistente del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Determinar la influencia de aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar la influencia del aditivo oleoso residual reutilizado la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.
- Evaluar la influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en la máxima densidad seca del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.
- Cuantificar la influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en la capacidad resistente del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

2.3. Justificación e importancia

Desde la perspectiva teórica, la tesis busca comprender los fundamentos científicos del uso de aceites residuales en carreteras afirmadas, a través de la revisión de literatura y teorías relacionadas con la ingeniería y la química de estos materiales. En el ámbito práctico, El propósito es plantear alternativas viables frente a los problemas concretos que enfrenta la región de Abancay-Apurímac, buscando incrementar la vida de servicio de las vías y disminuir los gastos asociados a su conservación.

Desde una óptica social, la investigación evidencia un efecto favorable en las comunidades beneficiarias, al contribuir con la mejora de la seguridad vial, facilitar el acceso a servicios esenciales y promover oportunidades de empleo a nivel local. En cuanto a la justificación metodológica, esta se basa en un enfoque sistemático y disciplinado que incorpora procedimientos precisos para la recolección, selección y análisis de los datos. Asimismo, se desarrollan ensayos tanto en laboratorio como en campo, complementados con el uso de herramientas estadísticas adecuadas. Con el propósito de garantizar la exactitud y la confiabilidad de los resultados, se aplican normas técnicas reconocidas que respaldan la validez del proceso investigativo.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- El aditivo oleoso residual reutilizado influye en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El aditivo oleoso residual reutilizado influye en la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.
- El aditivo oleoso residual reutilizado influye en la densidad seca del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

- El aditivo oleoso residual reutilizado influye en la capacidad resistente del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

2.5. Variables

Variable independiente : Aditivo oleoso residual reutilizado

Variable dependiente : Afirmado

2.5.1. Operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente Aditivo oleoso residual reutilizado	Son materiales reciclados que se utilizan en diversas aplicaciones. El aceite reciclado posee propiedades únicas que los hacen adecuados para su uso en la construcción y otras áreas de la ingeniería (Montilla et al., 2019).	Se llevó a cabo la obtención del aceite residual las cuales fueron dosificadas en un cierto porcentaje respecto al peso de la muestra que se utilizó.	2%, 4% y 6%	Porcentaje de adición	De razón
Dependiente Afirmado	Capas comprimidas de materiales granulares naturales o especialmente calibradas para soportar directamente cargas. Debe tener la cantidad justa de material fino y viscoso para mantener las partículas unidas (Cabrera y Dios, 2020).	Se realizó la evaluación de la superficie de rodadura con ensayos de granulometría, para la caracterización de los materiales y determinar sus propiedades con ensayos de Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR.	Plasticidad	Índice de plasticidad (%)	De razón
			Máxima densidad seca	MDS (gr/cm ³)	De razón
			Capacidad resistente	CBR (%)	De razón

Nota. Según la tabla 1, se observa la operacionalización de variables.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

Antecedentes internacionales

Suye (2022), “En la tesis, se planteó como propósito principal evaluar la factibilidad del uso de aceite de motor residual como agente estabilizador de suelos subrasantes, mediante la aplicación de proporciones del 2%, 4%, 6% y 8%. La investigación adoptó un enfoque de tipo experimental sustentado en la ejecución de ensayos de laboratorio. De acuerdo con el sistema de clasificación AASHTO, el material analizado fue identificado dentro del grupo A-7-6; mientras que, según la norma ASTM, se clasificó como tipo CL, correspondiente a una arcilla de baja plasticidad, condición que restringe su adecuación como subrasante en estado natural”. “Los resultados evidenciaron que la incorporación del 8% de aceite de motor provocó una disminución del límite líquido de 41% a 36.5% y una reducción del índice de plasticidad de 19% a 12.06%; sin embargo, el valor del CBR se redujo de 2.65% a 1.94%. En contraste, la mezcla con una dosificación del 4% incrementó el CBR hasta 4.26% y redujo la expansión de 9.46% a 2.5%. En consecuencia, se determinó que el uso del aceite de motor usado constituye una alternativa técnica viable, recomendándose especialmente su aplicación en una proporción del 4%, ya sea de manera independiente o complementada con pequeñas cantidades de estabilizantes convencionales como la cal o el cemento, con el fin de optimizar el comportamiento de suelos con tendencia expansiva”

Del Castillo y Orobio (2020), En el artículo se planteó como objetivo analizar alternativas sostenibles para la estabilización de suelos mediante el aprovechamiento de residuos, evaluando de manera preliminar las propiedades geotécnicas de un suelo fino empleado como subrasante. La investigación adoptó un enfoque de carácter exploratorio, orientado a examinar el comportamiento de un suelo clasificado como tipo MH al ser tratado

con distintas proporciones de Aceite de Motor Usado (AMU): 4%, 8%, 12% y 16%. “Para tal fin, se desarrollaron diversos ensayos de laboratorio entre ellos los límites de Atterberg, permeabilidad (k), resistencia a la compresión no confinada (q_u) y la relación humedad densidad, aplicados tanto al material en su condición natural como al modificado con diferentes dosificaciones de AMU. Los resultados evidenciaron una disminución progresiva de los valores del límite líquido y del límite plástico conforme se incrementaba la proporción del aditivo, acompañada de un ligero aumento en la densidad seca máxima y una notable reducción de la humedad óptima. En relación con la resistencia no confinada, esta se mantuvo prácticamente constante hasta la adición del 8%, mientras que la permeabilidad experimentó solo leves variaciones. En consecuencia, se concluye que la incorporación de aceite de motor usado puede mejorar determinadas propiedades de los suelos finos, incrementando su potencial para ser utilizados como material de subrasante en proyectos de infraestructura vial”.

Alarcón et al. (2020), En el artículo se desarrolló una investigación orientada a evaluar la efectividad del uso de lodos aceitosos como agente estabilizador en materiales granulares y suelos subrasantes, aplicando proporciones de adición del 2%, 4%, 6% y 8%. El estudio se sustentó en una metodología de tipo experimental, enfocada en determinar el comportamiento mecánico de los materiales tratados en comparación con los no modificados”. “Los resultados evidenciaron que una dosificación del 6% de lodo aceitoso constituye la opción más eficiente para mejorar las propiedades de un material granular tipo afirmado, al generar un incremento del 40% en el módulo resiliente respecto al material natural. En el caso de la subrasante, se determinó que una proporción del 4% es suficiente para alcanzar mejoras significativas en su desempeño. Desde una perspectiva económica, la inclusión del material granular estabilizado dentro de la estructura de un pavimento flexible aporta ventajas sustanciales, ya que permite reducir el espesor total del paquete estructural

y, en consecuencia, disminuir los costos de construcción por metro cúbico. Dichos beneficios se logran al sustituir la subbase granular tradicional por una capa estabilizada con un 6% de lodo aceitoso, optimizando así tanto la eficiencia técnica como la rentabilidad del proyecto”.

Núñez y Patín (2018) En la tesis se planteó como propósito principal identificar la dosificación óptima de aceite quemado que permita mejorar las propiedades de los suelos de tipo arenoso. Para alcanzar dicho objetivo, se emplearon muestras clasificadas como SM, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)”. “La investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo con diseño experimental, mediante el cual se realizaron ensayos de laboratorio mezclando diferentes proporciones de aceite quemado con el suelo, con el fin de analizar numéricamente su comportamiento y determinar su desempeño mecánico. De acuerdo con la clasificación SUCS, el material de estudio correspondió a una arena limosa (SM), compuesta por una combinación de limo y arena. Los resultados experimentales revelaron que, al incorporar una proporción de 10.53% de aceite quemado, la densidad seca máxima obtenida mediante el ensayo Proctor estándar fue de 1745.00 kg/m³, mientras que el valor del CBR al 95% alcanzó 13.35%. La aplicación del aceite residual produjo un incremento del 6.83% en el CBR respecto al suelo sin tratamiento, evidenciando así su eficacia como alternativa técnica viable para mejorar la capacidad portante y el desempeño de suelos arenosos en obras de infraestructura vial”.

Moncayo (2018), En el artículo científico, “se planteó como objetivo principal analizar de manera precisa las propiedades que inciden en la resistencia mecánica de un suelo representativo de la ciudad de San Ignacio, así como evaluar las variaciones generadas al incorporar diferentes porcentajes de aceite de motor usado (AMU). La investigación adoptó un enfoque cuantitativo y se desarrolló con una muestra de suelo subrasante clasificada como MH (limo de alta plasticidad), sobre la cual se realizaron ensayos de granulometría y determinación del índice de plasticidad. Para evaluar la mejora del comportamiento del

material, se aplicó el ensayo CBR como método indirecto para estimar el módulo de resiliencia (M_r), además de la prueba de consolidación para determinar la permeabilidad (k). “Asimismo, se efectuaron ensayos de corte directo, obteniéndose los valores de cohesión efectiva y del ángulo de fricción interna. Todos los procedimientos experimentales se llevaron a cabo tanto en el suelo natural como en las muestras tratadas con diferentes proporciones de AMU (4%, 8%, 12% y 16%), considerando el peso seco del material. Los resultados revelaron que las dosificaciones del 4%, 8% y 12% no fueron efectivas para la estabilización, pues redujeron la resistencia del suelo. En contraste, la adición del 16% de AMU demostró ser la más adecuada, al generar un incremento del 51% en el índice del Módulo de Atterberg. En consecuencia, se concluye que la proporción del 16% constituye la dosificación óptima para la estabilización del suelo subrasante, recomendándose su uso en aplicaciones geotécnicas similares”.

Antecedentes nacionales

Huaquisto (2016), El propósito fundamental de la presente investigación fue analizar el efecto del aceite automotriz residual sobre las propiedades físico-mecánicas de un tipo de suelo determinado. Para tal fin, se aplicó una metodología de carácter experimental, incorporando al material natural diferentes porcentajes de aceite usado: 2%, 4%, 6%, 8% y 10%. Los resultados obtenidos en los ensayos mostraron una disminución progresiva del índice de plasticidad, que pasó de 15.89% a 3.64% a medida que se incrementó la cantidad de aceite incorporado. Del mismo modo, la densidad seca máxima presentó una tendencia descendente, reduciéndose de 1.96 g/cm^3 a 1.77 g/cm^3 . Asimismo, el contenido óptimo de humedad decreció de 10.6% a 5.8%. En cuanto a la permeabilidad, se registró una notable reducción, desde $1.18 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ hasta $9.86 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$. Por otra parte, la resistencia a la compresión simple alcanzó su valor máximo de 7.61 kg/cm^2 con adiciones entre 2% y 4% del aditivo, disminuyendo al superar dichos porcentajes. En lo referente a la cohesión, esta

se redujo de 0.34 kg/cm² a 0.16 kg/cm², aunque se observó un valor máximo de 0.44 kg/cm² dentro del mismo rango óptimo de adición. Respecto al ángulo de fricción interna, se evidenció un incremento inicial de 9.52° a 13.12° al 4% de contenido de aceite, sin una tendencia claramente definida en proporciones superiores. En síntesis, los resultados reflejan una relación inversa entre la mayoría de las propiedades físico-mecánicas y la cantidad de aceite automotriz residual incorporado, recomendándose su empleo en proporciones controladas particularmente entre el 2% y el 4% para lograr una estabilización efectiva del suelo sin comprometer su resistencia ni su comportamiento estructural.

Pacheco (2023), “El propósito central de esta investigación fue evaluar el efecto de la combinación de aceite sulfonado y cemento en la estabilización de suelos cohesivos empleados como subrasante. Para ello, se adoptó un enfoque científico dentro de una investigación aplicada de tipo explicativo, sustentada en un diseño experimental. El estudio se llevó a cabo en la zona de Bajo Toterani, perteneciente al distrito de Perené, provincia de Chanchamayo, región Junín. La población estuvo conformada por los suelos en su condición natural y aquellos modificados con la adición de aceite sulfonado. La muestra fue seleccionada de manera intencionada, considerando el tramo comprendido entre las progresivas 07+100 y 07+250, de donde se extrajo el material mediante calicatas para su posterior caracterización. Los resultados obtenidos a partir del ensayo CBR mostraron que el suelo en su estado natural presentaba una baja capacidad portante, con un valor de 5.80 al 95% de la MDS. Posteriormente, se procedió a la estabilización del material aplicando tres proporciones de cemento (3%, 5% y 7%) combinadas con volúmenes de aceite sulfonado de 0.3, 0.5 y 0.7 litros por metro cúbico. La respuesta más favorable se registró con la mezcla que contenía un 7% de cemento y 0.07 l/m³ de aceite sulfonado, alcanzándose un CBR al 95% de la MDS de 48.30”. “Asimismo, los análisis de pH evidenciaron que el suelo adquirió una fuerte alcalinidad, lo que contribuyó de manera positiva a su estabilidad estructural. En

síntesis, se concluye que la combinación de aceite sulfonado y cemento constituye una alternativa técnica eficaz para incrementar de forma significativa la resistencia y capacidad portante de los suelos cohesivos empleados como subrasante en obras viales”.

Haro y Sono (2022), “El propósito principal de esta investigación fue determinar el efecto de la aplicación de aceite de motor usado en la mejora de las propiedades del suelo subrasante de una vía no pavimentada que conecta los asentamientos humanos de Pampadura y Chachapoyas, evaluando su potencial como alternativa de estabilización económica y accesible. La población del estudio estuvo constituida por las trochas carrozables del distrito de Chimbote, seleccionándose como muestra un tramo representativo de 4 kilómetros entre los asentamientos mencionados. La investigación adoptó un enfoque cuasiexperimental, orientado a analizar los cambios producidos en las propiedades físico-mecánicas del suelo tras la incorporación del aditivo. Se aplicaron tres proporciones de aceite residual de motor (ARM): 5%, 7% y 9%”. “Los resultados obtenidos evidenciaron mejoras significativas en los parámetros derivados del ensayo Proctor Modificado, registrándose densidades secas máximas de 1.862 g/cm³, 1.872 g/cm³ y 1.76 g/cm³, respectivamente, con humedades óptimas de 8.5%, 8.6% y 9.2%. De igual modo, los valores del CBR al 95% de la densidad seca máxima fueron de 6.76%, 11.41% y 8.79%, superando ampliamente el 4.5% correspondiente al suelo sin tratamiento. Estos hallazgos demuestran que la incorporación de aceite residual de motor en las proporciones estudiadas produce una mejora notable en el comportamiento mecánico del suelo subrasante, destacándose la dosificación del 7% como la más eficiente. Esta proporción logró incrementar la capacidad portante en un 254% respecto a la muestra patrón, consolidándose como una opción técnica viable para la estabilización de vías no pavimentadas”.

Cabrejos y Murga (2021), “El propósito de la presente investigación fue evaluar la viabilidad del uso de lubricante vehicular reciclado como alternativa para la estabilización

de afirmados en un tramo rural correspondiente al centro poblado de Cambio Puente, en la ciudad de Chimbote. Para el desarrollo del estudio, se emplearon materiales extraídos de las canteras “La Víbora” y “Guadalupito”, ubicadas en las inmediaciones del área de intervención”. “La selección de las muestras se realizó de manera intencionada, limitándose a estas dos fuentes localizadas en los distritos de Chimbote y Guadalupito. La investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo con diseño experimental, mediante el cual se efectuaron ensayos de laboratorio, específicamente el Proctor Modificado y el CBR, con el propósito de comparar un material patrón frente a mezclas tratadas con lubricante reutilizado en proporciones de 1.5%, 3% y 4.5%, determinadas en función de la humedad óptima. Los resultados obtenidos evidenciaron incrementos tanto en la densidad seca máxima como en la capacidad de soporte del suelo, alcanzando valores de 2.23 g/cm^3 , 2.29 g/cm^3 y 2.25 g/cm^3 , y CBR de 121.92, 156.42 y 120.82, respectivamente. De acuerdo con los hallazgos, la dosificación del 3% resultó ser la más eficiente, al proporcionar el mayor equilibrio entre resistencia y compactación. En consecuencia, se concluye que la aplicación de aceite usado de motor constituye una alternativa técnica viable y sostenible para mejorar las propiedades mecánicas de los afirmados en vías rurales, contribuyendo al aprovechamiento responsable de residuos y a la optimización del desempeño estructural del suelo”.

Hurtado y Ortega (2021), “El propósito fundamental de esta investigación fue optimizar las condiciones del afirmado en una vía no pavimentada mediante la aplicación de una mezcla de aceite sulfonado y cemento como técnica de estabilización, orientada a mejorar las propiedades físico-mecánicas de la capa de rodadura. El estudio se desarrolló en la comunidad de Soccus, perteneciente al distrito de Ocobamba, provincia de Chinchero. Se adoptó una metodología descriptiva con un diseño experimental de tipo transversal, que permitió evaluar comparativamente el comportamiento del material bajo distintas proporciones de aditivos. Como referencia inicial, se utilizó una muestra sin aditivos (M0),

la cual registró un valor de CBR al 100% de 8.7%.” “Posteriormente, al incorporar una combinación de 0.30 litros/m³ de aceite sulfonado y 55 kg/m³ de cemento (M1), el valor del CBR se incrementó a 200%. En la muestra M2, que mantuvo la misma dosis de aceite pero aumentó la cantidad de cemento a 60 kg/m³, el CBR alcanzó 223%”. “Finalmente, con la mezcla que contenía 0.32 litros/m³ de aceite sulfonado y 65 kg/m³ de cemento (M3), se obtuvo el valor máximo de CBR, equivalente a 270%. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en la capacidad de soporte del suelo en todos los tratamientos en comparación con el material original. En consecuencia, se concluye que la dosificación óptima corresponde a 0.32 litros/m³ de aceite sulfonado combinado con 65 kg/m³ de cemento, ya que permitió alcanzar el mayor incremento en la resistencia del suelo proveniente de la cantera de Liriopata, consolidándose como una alternativa técnica eficaz para la estabilización de afirmados rurales”.

Jalanoca (2021), “La presente investigación tuvo como finalidad evaluar la influencia del aceite residual en las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante correspondiente al tramo vial que une Platería con Perka, en la región de Puno, durante el año 2021. El estudio se efectuó a lo largo de toda la subrasante de la vía, ubicada en el distrito de Platería, provincia y departamento de Puno, a una altitud promedio de 3,856 m s. n. m. La muestra de estudio estuvo conformada por las diferentes secciones de la subrasante del tramo analizado, tomando material representativo de la cantera localizada en el kilómetro 6+700, margen derecho. Posteriormente, se realizaron los ensayos de laboratorio establecidos en la metodología. El enfoque metodológico adoptado fue de tipo cuasiexperimental, aplicándose cuatro dosificaciones de aceite residual: 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%”. “Los resultados evidenciaron un incremento progresivo en la densidad seca máxima, pasando de un valor base de 2.056 g/cm³ a 2.060 g/cm³, 2.077 g/cm³, 2.086 g/cm³ y 2.006 g/cm³, de acuerdo con la cantidad de aditivo incorporado. En relación con el ensayo

CBR, el suelo presentó inicialmente un valor de 8.64%, el cual mejoró significativamente tras la adición del aceite residual, reflejando un comportamiento más favorable de la subrasante. En síntesis, los resultados permiten concluir que la aplicación de aceite residual en proporciones comprendidas entre 1.5% y 3.5% genera una mejora notable en las propiedades mecánicas del suelo, contribuyendo a optimizar su desempeño estructural y su capacidad de soporte como subrasante en vías no pavimentadas”

Villanueva (2021), “El presente estudio tuvo como propósito fundamental analizar el efecto de la incorporación de aceite automotriz usado en la estabilización y mejoramiento de las propiedades de un suelo de naturaleza arcillosa. La investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo de tipo aplicativo, sustentado en un método explicativo con diseño cuasiexperimental. Se recolectaron muestras representativas del material, a las cuales se les determinaron inicialmente sus características en estado natural. Posteriormente, dichas muestras fueron tratadas con distintas proporciones de aceite residual, con el fin de evaluar variables como los límites de consistencia, la densidad seca máxima, el contenido óptimo de humedad y la resistencia a la penetración”. “Los resultados obtenidos permitieron identificar que las dosificaciones del 4% y 6% de aceite automotriz usado generaron los efectos más favorables en la mejora de las propiedades físico-mecánicas del suelo, demostrando su potencial como agente estabilizador alternativo para materiales arcillosos”.

Tuscano (2017), “El propósito central de esta investigación fue analizar la influencia del uso de aceite reciclado en la mejora de las condiciones del suelo subrasante correspondiente a la vía del Circuito Cruz de Paz. La investigación se desarrolló bajo una metodología de tipo aplicada, con un enfoque explicativo y correlacional, sustentada en un diseño experimental”. “Los resultados obtenidos evidenciaron que la incorporación de aceite reciclado en proporciones de 2% y 4% produjo un efecto positivo en la estabilización del suelo, reflejado en los valores de CBR al 95% de la densidad seca máxima, los cuales

alcanzaron 5.31% y 8.51%, respectivamente. No obstante, al incrementar la dosificación al 6%, el valor del CBR se redujo a 1.79%, resultado considerado desfavorable para las condiciones de la subrasante”. “En síntesis, se concluye que la aplicación de aceite lubricante reciclado en proporciones comprendidas entre el 2% y el 4% resulta técnica y económicamente viable, siendo esta última la dosificación más eficiente, al lograr un aumento del CBR al 95% hasta 8.51% respecto al suelo natural. Dicho comportamiento confirma su idoneidad para ser empleado como agente estabilizador en vías rurales o de bajo volumen de tránsito”.

3.2. Bases teóricas

Carpeta de rodadura afirmada

El afirmado se define como una capa estructural conformada por material natural o previamente procesado, que cumple la función de superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas. Este estrato constituye un elemento fundamental dentro de la estructura vial, ya que permite la adecuada distribución de las cargas generadas por el tránsito vehicular hacia las capas inferiores, evitando deformaciones excesivas y garantizando la estabilidad del terreno. Su composición suele incluir mezclas de suelos granulares, gravas y arenas, a veces mejoradas mediante tratamientos mecánicos o la incorporación de estabilizantes químicos, con el fin de optimizar su capacidad portante y resistencia al desgaste.

La correcta preparación, colocación y compactación del afirmado son procesos determinantes para asegurar su desempeño funcional y su durabilidad a largo plazo. Una ejecución deficiente puede originar problemas como baches, pérdida de material, formación de polvo o encharcamientos, afectando la seguridad y comodidad de los usuarios. Por esta razón, la selección del material y la aplicación de procedimientos constructivos adecuados deben regirse por especificaciones técnicas establecidas en normas viales, tales como las del

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en el contexto peruano o las recomendaciones de la AASHTO a nivel internacional.

En zonas rurales o de difícil acceso, donde la implementación de pavimentos asfálticos o de concreto resulta económicamente inviable, el afirmado representa una solución práctica, económica y sostenible. Su mantenimiento periódico mediante el perfilado, riego y compactación permite conservar las condiciones de transitabilidad, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de las comunidades al facilitar el transporte de personas, productos y servicios. En síntesis, el afirmado constituye una alternativa eficiente dentro de la ingeniería vial, al equilibrar el rendimiento técnico con la disponibilidad de recursos locales y las condiciones geográficas del entorno (MTC, 2015)

La transitabilidad de una vía puede variar en función de las normativas establecidos por cada país o región, así como por el rol funcional y jerárquico que se le atribuya a la carretera. Sin embargo, de manera general, se pueden identificar ciertos niveles esenciales que definen su condición.

Tabla 2*Niveles básicos de transitabilidad*

Transitabilidad	Simbología	Detalles
Bueno	B	El pavimento presenta condiciones favorables, la señalización es apropiada y el sistema de drenaje opera de manera eficiente, cumpliendo con los estándares técnicos establecidos. Esto permite a los usuarios desplazarse de forma segura y cómoda, ya que la vía se encuentra apta para el tránsito vehicular.
Regular	R	La carretera muestra fallas menores, tales como baches, irregularidades en la superficie o deficiencias en la señalización, lo que podría afectar levemente la seguridad y comodidad del tránsito. No obstante, se recomienda realizar labores de mantenimiento periódico para corregir dichas observaciones.
Deficiente	D	La vía evidencia fallas importantes, como deterioro del pavimento, ausencia de señalización o inconvenientes en el sistema de drenaje, lo que impacta negativamente en la seguridad y confort del tránsito vehicular. Ante esta situación, resulta imprescindible ejecutar labores de rehabilitación o reconstrucción para recuperar condiciones adecuadas de transitabilidad.
No apto	N	La vía se halla en un estado crítico o ha sido restringida al tránsito vehicular a causa de daños severos en el pavimento, drenaje u otros componentes que comprometen su seguridad y funcionalidad. En esas condiciones, no cumple con los requerimientos mínimos para su uso vehicular, por lo que se requiere una intervención urgente mediante trabajos de emergencia o reconstrucción que permitan recuperar su transitabilidad.

Nota. La tabla 1, nos muestra cómo cambia los niveles de transitabilidad según simbología y detalle. Tomado del MTC (2015).

Composición de la carpeta de rodadura de afirmado

La procedencia del material utilizado en afirmados varía según la disponibilidad en la zona, pudiendo obtenerse de fuentes como canteras, excavaciones, escorias industriales o mediante la trituración de rocas y gravas. Es fundamental que dicho material tenga una naturaleza granular, esté libre de contaminantes y cumpla con los criterios técnicos exigidos. Asimismo, los agregados deben presentar características de dureza, resistencia y durabilidad, sin contener elementos como materia orgánica o arcillas que puedan comprometer su

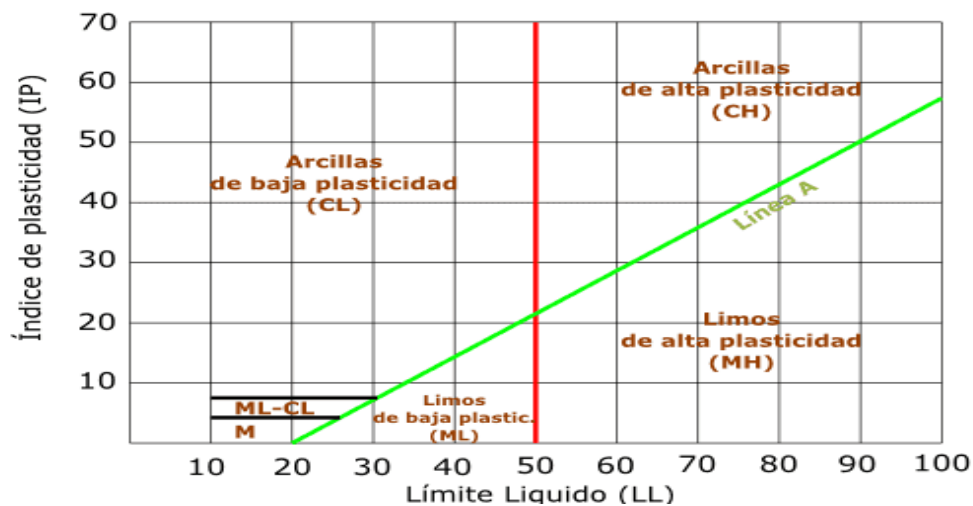
desempeño. La verificación de la calidad debe realizarse conforme a las normativas correspondientes.(MTC, 2015)

Requisitos de calidad de los materiales para afirmado

Los criterios de eficacia en afirmado hacen referencia a propiedades, condiciones que deben reunir los insumos destinados a conformar esta capa en una vía de comunicación. En términos generales, entre dichos requisitos destacan los relacionados con la granulometría, los cuales deben ser cumplidos para asegurar un comportamiento adecuado del afirmado:

Figura 1

Sistema Unificado de Clasificación de suelos



Nota. La Figura 1 presenta el esquema de clasificación correspondiente al índice de plasticidad y al límite líquido. Tomado de Boiero (2021)

Estabilización del afirmado

Existen múltiples métodos para la estabilización de suelos, entre los cuales destaca el uso de aditivos estabilizantes como la cal, el cemento, la ceniza volante, el asfalto y otros compuestos químicos que mejoran sus características geotécnicas. Estos productos pueden integrarse directamente en el terreno en su ubicación original o aplicarse como una capa tratada previamente sobre la subrasante ya existente. Esta técnica es clave en estructuras

viales, ya que permite formar una base sólida y duradera, contribuyendo significativamente a aumentar la vida útil del pavimento. (CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes, 2016)

La eficacia del proceso de estabilización de suelos se asocia directamente con su capacidad para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del terreno, garantizando así una base sólida y estable para el desarrollo de obras de infraestructura. Dicha efectividad depende de múltiples factores interrelacionados, entre los que destacan la naturaleza y composición del suelo, el tipo de estabilizante empleado, su dosificación adecuada, el método de aplicación utilizado, las condiciones ambientales al momento del tratamiento y el nivel de control de calidad implementado durante la ejecución. Cada uno de estos aspectos incide de manera significativa en el comportamiento y desempeño final del suelo estabilizado. Los principales factores que intervienen en este proceso se sintetizan en la Tabla 3.

Tabla 3

Efectividad de estabilidad

Suelo	Arcilla		Limo		Arena	
	Fina	Gruesa	Fino	Grueso	Fina	Gruesa
Tamaño (mm)	< 0.06%	≥ 0.06%	≥ 0.2%	≥ 1%	≥ 6%	≥ 40%
		< 0.2%	< 1%	< 6%	< 40%	< 200%
Estabilidad	Deficiente	Aceptable	Aceptable	Adecuado	Excelente	Excelente
CaO	✓	✓	✓			
Aglomerante	x	x	x	x	✓	✓
Emulsión asfáltica					✓	✓

Nota. La tabla 4, muestra el rango de aceptación de los materiales de suelo según su efectividad de estabilidad. Tomado de CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes (2016)



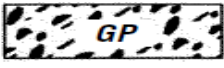
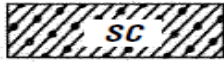

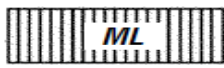

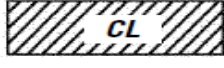
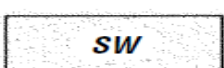
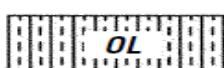
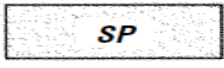

Propiedades del afirmado

un afirmado puede estar conformado por diversas clases de suelo, cuya caracterización se lleva a cabo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

(SUCS). Este sistema permite determinar si el material tiene mayor proporción de arcilla, arena, grava o presencia de componentes orgánicos. Esta identificación resulta esencial para seleccionar el tipo adecuado de estabilización o tratamiento, así como para establecer la cantidad óptima del estabilizante y el nivel de compactación que debe aplicarse. (MEF, 2015)

Figura 2

Tipos de suelo según la clasificación SUCS

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo.
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino.		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcilla.
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa.		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad.
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino.		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra.
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios.		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad.
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios.		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micácea o diatometacea, limo elástico.

Nota. La Figura 2 representa las distintas clases de suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Tomado de CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes (2016)

Plasticidad de los suelos

La plasticidad se define como la propiedad del suelo que le permite conservar su cohesión y experimentar deformaciones sin llegar a fracturarse. Esta cualidad, también conocida como consistencia del suelo, se evalúa a través de ensayos de laboratorio denominados Límites de Atterberg, los cuales determinan el límite líquido y el límite plástico del material. La diferencia numérica entre ambos parámetros corresponde al índice de

plasticidad, considerado un indicador fundamental para comprender el comportamiento del suelo frente a esfuerzos de deformación y su capacidad de respuesta ante variaciones de humedad y carga. (FAO, 2022)

El límite líquido se obtiene mediante el uso del dispositivo denominado cuchara de Casagrande, el cual permite determinar el contenido de humedad a partir del cual el suelo comienza a comportarse como un material fluido al ser sometido a una carga mínima. Una vez registrados los golpes requeridos en un intervalo de tiempo determinado, se construye una gráfica que facilita la identificación precisa de este valor límite. Si el material no alcanza el número estándar de 25 golpes durante el ensayo, se considera que el suelo carece de plasticidad y, por tanto, se clasifica como no plástico.

Según lo definido por el MTC E 110 la medición del límite líquido.

Equipos:

- Contenedores de porcelana.
- Ranurador curvo.
- Cuchara de Casagrande.
- Contenedor de metal.
- Balanza electrónica con la capacidad de determinar variaciones de 0.01 g.
- Una máquina de secado calibrada a 110 ± 5 °C.

Muestra:

Se selecciona parte de 150 a 200 gramos de muestra representativa que pasa a través de una rejilla de clasificación N° 40.

Procedimiento:

- “El procedimiento para la determinación del límite líquido comienza con el secado previo del suelo, asegurando la eliminación total de la humedad natural presente. Una vez seco, el material se tamiza cuidadosamente utilizando la malla

Nº40, con el fin de obtener una fracción fina y representativa de la muestra. Posteriormente, al suelo retenido se le incorpora agua de manera gradual hasta lograr una pasta homogénea, libre de grumos y con una consistencia uniforme, condición indispensable para garantizar la precisión del ensayo”. “La pasta obtenida se somete al dispositivo de Casagrande, donde se coloca una porción en la cápsula metálica del equipo, trazando en ella un canal con la herramienta ranuradora estandarizada. A continuación, el operador hace funcionar el aparato, anotando el número de golpes requeridos para que ambas mitades del canal se cierren en una longitud específica, producto de la fluidez que adquiere el material al aumentar su contenido de humedad”. “Finalizada esta fase, una pequeña cantidad de la mezcla se introduce en un horno a temperatura controlada, con el objetivo de determinar el porcentaje real de humedad. Este procedimiento se repite al menos tres veces, variando en cada ensayo los niveles de humedad añadidos, a fin de obtener diferentes puntos de medición. Finalmente, los resultados se grafican y, mediante la curva de flujo resultante, se determina con precisión el valor correspondiente al límite líquido del suelo”

Figura 3

Gráfica de Límite Líquido



Nota. La Figura 3 muestra la curva obtenida en el ensayo de límite líquido, donde se ilustra cómo varía el contenido de humedad del suelo en función del número de golpes aplicados durante la prueba (ETSI & UPM, 2015).

El límite plástico se define como el valor promedio del contenido de humedad determinado a partir del análisis de múltiples muestras del mismo suelo. Para su obtención, se registra inicialmente el peso del material en condición húmeda junto con el recipiente que lo contiene. Posteriormente, la muestra se somete a secado en horno a una temperatura de 110 °C hasta alcanzar masa constante, momento en el cual se anota nuevamente su peso en estado seco. Con estos datos, se calcula el contenido de humedad mediante la relación existente entre la cantidad de agua evaporada y el peso del suelo seco, lo que permite establecer con precisión el punto en que el material pasa de un comportamiento plástico a uno semisólido.

Según lo indicado en la norma MTC E-110, también se lleva a cabo la medición del límite líquido

Equipos:

- Vidrio esmerilado

- Espátula
- Recipiente de mezclado
- Recipiente de secado
- Balanza electrónica con la capacidad de determinar variaciones de 0.01 g.
- Horno calibrado 110±5 °C

Muestra:

Material previamente tamizado con rejilla de clasificación N.º 40, asegurando el uso exclusivo de partículas finas aptas para el ensayo.

Procedimiento:

- Se determinó el límite plástico mediante el amasado del suelo previamente tamizado con rejilla de clasificación N.º 40, formando cilindros de 3 mm de diámetro hasta que se agrieten. La muestra que cumplió esta condición fue secada en horno para obtener su contenido de humedad.

Tabla 4

Ejemplo de límite plástico

Prueba N	1	2
Masa del frasco, gr.	32.7	31.5
Masa del frasco + suelo húmedo, gr.	39.4	38.4
Masa del frasco + suelo seco, gr.	38.4	37.7
Masa del agua contenida, Mw	1.0	1.1
Masa del suelo seco, Ms	5.7	6.2
Contenido de humedad, Mw/Msx100	17.5	17.7
Contenido de humedad promedio,	17.6	
Límite plástico (%)	18	

Nota: La tabla 5, ilustra la determinación del límite plástico. Tomado de Shuan y Basurto (2019)

Una vez establecidos el límite líquido y el límite plástico, es posible determinar la consistencia del suelo calculando la diferencia entre ambos valores:

$$IP = LL - LP \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

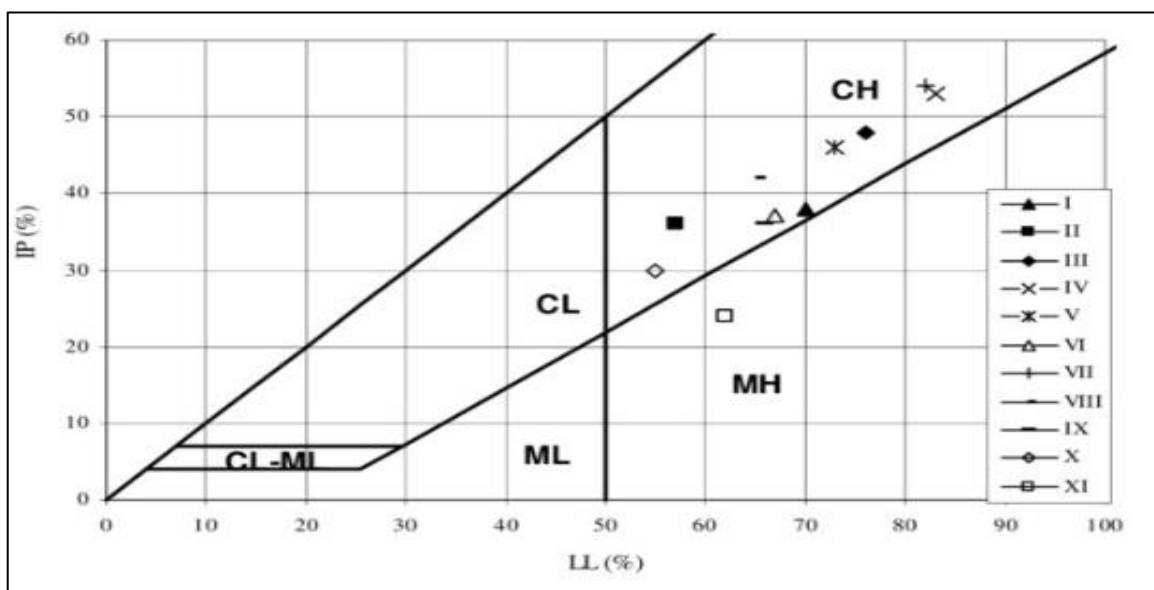
IP = índice de plasticidad (%)

LL = límite líquido (%)

LP = límite plástico (%)

Figura 4

Gráfica de plasticidad



Nota. la Figura 4 se muestra la carta de plasticidad, donde el límite líquido se ubica en el eje X (horizontal), mientras que en el eje Y (vertical) se grafica el índice de plasticidad (Condevilla ,2022)

Densidad seca máxima de un suelo arcilloso

La densidad seca máxima de un suelo se determina a través de distintos procedimientos experimentales, entre los cuales destacan los ensayos Proctor estándar y Proctor modificado. Este parámetro representa la mayor densidad que el material puede alcanzar al ser compactado bajo condiciones óptimas de humedad, conocidas como contenido de humedad óptimo (OCH). Dicho valor es fundamental para evaluar la eficiencia de la compactación y establecer las condiciones más adecuadas para garantizar la estabilidad y capacidad portante del suelo en obras de ingeniería civil. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Según la norma MTC E 115, se realiza el siguiente procedimiento.

Materiales:

- Regla metálica
- Cuchara, espátulas, criba $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4.

Equipos:

- Molde cilíndrico de 4 pulgadas de diámetro y altura de 4.584 pulgadas.
- Molde cilíndrico de 6 pulgadas de diámetro y una altura de 4.584 pulgadas.
- Martillo de compactación con un peso de 4.54 ± 0.01 kg (equivalente a 10 ± 0.02 lb), el cual cae desde una altura de 18 pulgadas
- Balanza con una precisión mínima de 1 gramo.
- Horno calibrado para mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.

Procedimiento:

La selección del molde adecuado constituye un paso esencial en la determinación de la densidad del suelo, debiendo elegirse conforme al método de compactación a emplear (A, B o C) y verificando previamente su volumen con precisión. Para obtener resultados representativos, se recomienda efectuar un mínimo de cuatro ensayos variando el contenido de humedad, cuidando que la diferencia entre cada uno no exceda el 4%, lo cual permite construir una curva de compactación que se aproxime al punto óptimo. En los métodos A y B se utiliza, por lo general, una masa aproximada de 2.3 kg de suelo previamente tamizado, mientras que el método C requiere alrededor de 5.9 kg.

El procedimiento comienza pesando el molde vacío, tras lo cual se instala el collarín y se procede a la compactación del material en cinco capas de espesor uniforme, aplicando el número de golpes especificado por el método correspondiente. Concluido el proceso, se retira cuidadosamente el collarín, se alisa la superficie del suelo utilizando una regla metálica y se registra el peso del molde lleno. Finalmente, se extrae una muestra representativa del

material compactado, que será empleada para determinar el contenido de humedad, parámetro indispensable para el análisis de la curva de compactación y la identificación del contenido de humedad óptimo.

Para determinar la densidad seca máxima (DSM) y el contenido óptimo de humedad (OCH), se efectúan los cálculos correspondientes en gabinete, basados en los datos obtenidos del ensayo Proctor Estándar. Inicialmente, se calcula el peso unitario seco del suelo que ha sido compactado, lo cual constituye el primer paso del procedimiento:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

ρ_m = densidad húmeda (kg/m³)

M_t = masa húmeda: muestra + molde (kg)

M_{md} = masa del molde (kg)

V = volumen del molde (m³)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

ρ_d = densidad seca (kg/m³)

ρ_m = densidad húmeda (kg/m³)

W = contenido de humedad (%)

$$\gamma_d = 62.43 \rho_d \text{ lbf/ft}^3 \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$\gamma_d = 9.807 \rho_d \text{ kN/m}^3 \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

γ_d = peso unitario seco (kN/m³)

Para trazar la curva de saturación, es necesario calcular el contenido de humedad correspondiente a una condición de saturación completa del suelo:

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

W_{sat} = contenido de agua (%)

γ_w = peso unitario del agua (9.8 kN/m³)

γ_d = peso unitario seco (kN/m³)

G_s = gravedad específica

California Bearing Ratio (CBR) del suelo

Esta prueba permite evaluar la capacidad del suelo para resistir cargas, midiendo su grado de soporte en relación con las distintas capas que integran su estructura. Es recomendable realizarlo en laboratorio para obtener un análisis más preciso, considerando que las muestras deben conservarse en su estado original hasta el momento de la prueba, es decir, mantenerse inalteradas desde su extracción en campo hasta su evaluación. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Para calcular el valor de CBR, cuando se obtienen más de seis resultados distintos en las muestras evaluadas, se procede a calcular un promedio, siempre que estas presenten condiciones estructurales homogéneas y comparables. Este valor promedio se emplea posteriormente para clasificar el tipo de afirmado:

Tabla 5

Categoría del afirmado

Afirmado	
Categoría	CBR
S0: inadecuado	< 3%
S1: insuficiente	3% - 6%
S2: regular	6% - 10%
S3: buena	10% - 20%
S4: muy buena	20% - 30%
S5: excelente	≥ 30%

Nota. La tabla 6, muestra la categoría y rangos permisibles del afirmado. Tomado del MTC (2016)

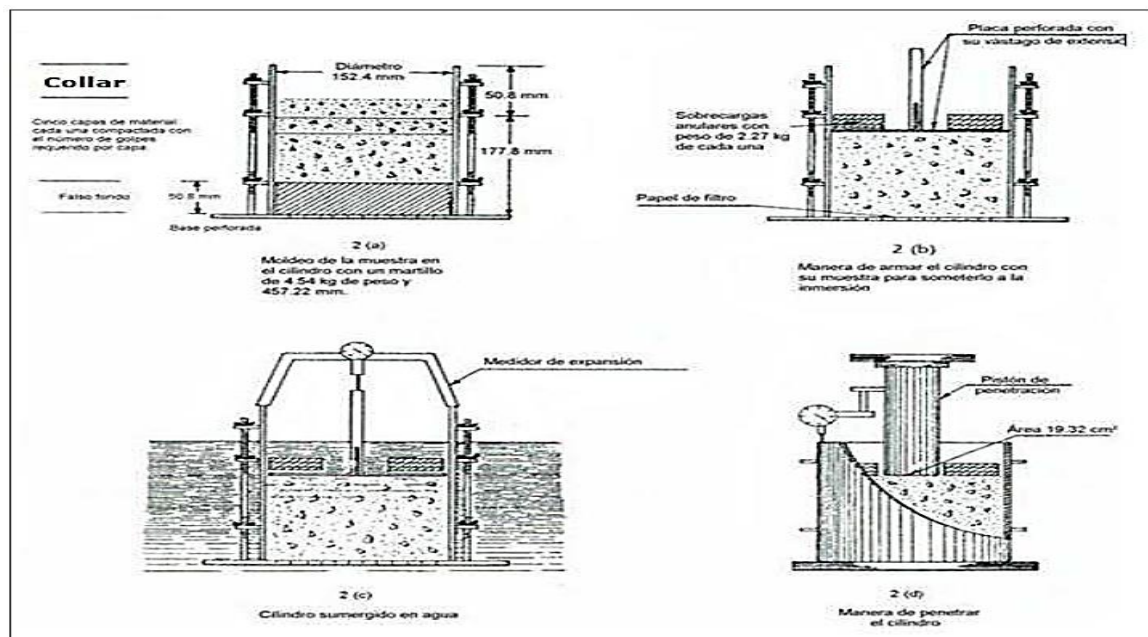
El valor del CBR (California Bearing Ratio) se determina mediante un procedimiento experimental estandarizado conocido como “Ensayo CBR”, el cual constituye una de las pruebas fundamentales dentro de la mecánica de suelos para evaluar la capacidad portante potencial de los materiales utilizados en capas de afirmado, subrasante o subbase de las estructuras viales. Este ensayo tiene como finalidad principal establecer una relación comparativa entre la carga aplicada sobre una muestra de suelo y la resistencia que ofrece el material frente a la penetración de un pistón estándar, bajo condiciones controladas de humedad y compactación.

El desarrollo del ensayo implica la preparación de muestras representativas del suelo, las cuales son sometidas a diferentes grados de compactación y períodos de inmersión en agua, con el propósito de simular las condiciones reales que pueden presentarse en campo. Posteriormente, se registra la presión necesaria para producir determinadas deformaciones, comparando estos valores con los obtenidos en una muestra de referencia de material granular triturado de alta calidad.

El resultado se expresa como un índice porcentual, que permite clasificar los suelos según su capacidad de soporte y determinar su idoneidad para ser empleados en la construcción de pavimentos o carreteras. En consecuencia, el CBR constituye un parámetro esencial para el diseño, control y evaluación del comportamiento estructural de los suelos utilizados en obras de infraestructura vial. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Figura 5

Equipo CBR



Nota. La figura 5, muestra la función del equipo CBR. Tomado del MTC (2016)

Procedimiento:

- Se prepararon tres moldes con suelo compactado al contenido óptimo de humedad (6.75 %), variando la energía de compactación: 56 golpes (M1), 25 golpes (M2) y 12 golpes (M3). Luego de colocar discos espaciadores, papel filtro y compactar cada molde, se enrasa y se invierte el molde para colocar el panel filtro y el sistema de sobrecarga. Cada molde se saturó durante 4 días en agua, registrando diariamente las lecturas de hinchamiento. Pasado este tiempo del drenaje de los moldes, se llevó a cabo el ensayo CBR colocando cada muestra en el equipo correspondiente. Se alineó el pistón en el centro del espécimen y se inició la penetración con una velocidad constante de 0.05 pulgadas por minuto. A lo largo del ensayo se anotaron las fuerzas aplicadas en función de las diferentes profundidades de penetración. Finalizada la prueba, se procedió a extraer la muestra de suelo para determinar su humedad residual. Con los datos

obtenidos, se construyó la gráfica correspondiente de carga frente a penetración, lo que permitió calcular los valores de CBR para profundidades de 0.1 y 0.2 pulgadas.

En esta prueba, se ejerce una carga de penetración a una velocidad uniforme, El procedimiento se lleva a cabo bajo un control riguroso utilizando un deformímetro y un cronómetro, registrándose con exactitud las lecturas asociadas a cada aumento progresivo de la carga aplicada.

Tabla 6

Penetraciones a ser leídas

Penetración (mm)	Penetración (pulg)
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Nota. La tabla 7, nos muestra los valores de deforma miento. Tomado del MTC (2016)

Se calcula la humedad de compactación:

$$\% \text{ agua} = \frac{H-h}{100+h} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

H = humedad prefijada

h = humedad natural

Se calcula el porcentaje de expansión:

$$\% \text{ expansión} = \frac{L_2-L_1}{127} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

L1 = lectura inicial (mm)

L2 = lectura final (mm)

El índice de CBR se calcula en función a la presión a 0.1" y 0.2":

Tabla 7

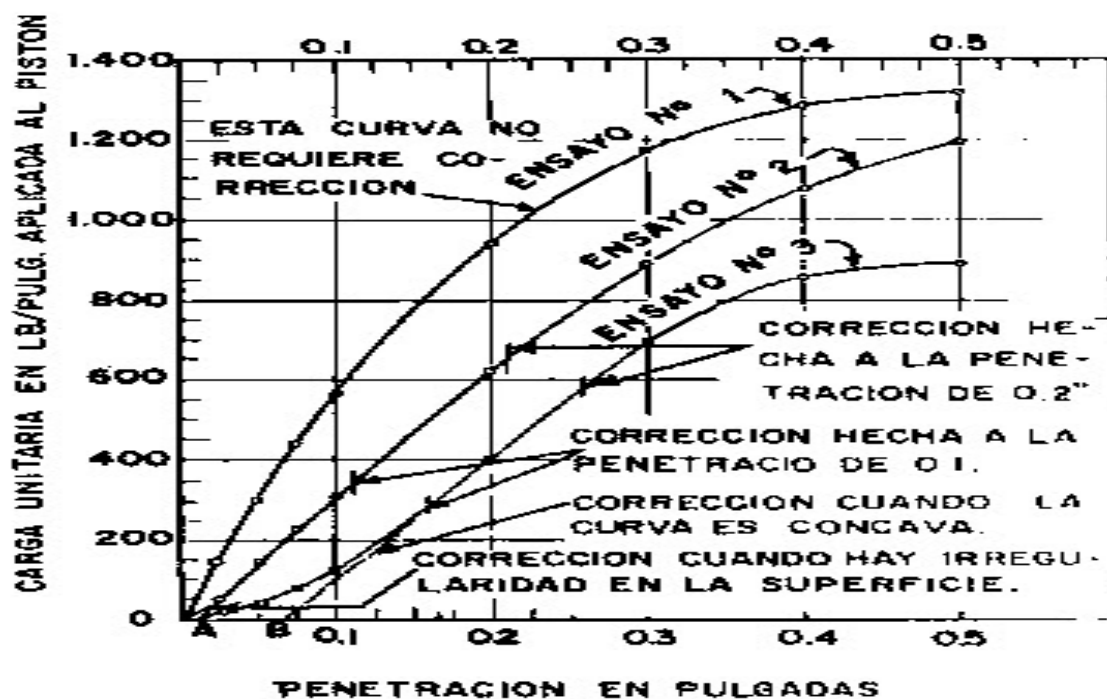
Presión de penetración

Penetración		Presión		
mm	pulg	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1000
5.08	0.2	10.35	105.46	1500

Nota. La Tabla 8, presenta los valores correspondientes a la penetración y la presión aplicadas, según lo establecido por el MTC (2016). A partir de estos datos, se elabora la gráfica que representa la relación entre el esfuerzo y la penetración.:

Figura 6

Curva esfuerzo vs penetración



Nota. La Figura 6, muestra la gráfica de la carga unitaria aplicada vs penetración en pulgadas.

Tomado de Tonylansh (2012).

Aditivo oleoso residual reutilizado

Es una sustancia de naturaleza aceitosa del aceite lubricado usado, también conocido como aceite usado de motor, es el lubricante que se utiliza en los motores de vehículos y maquinaria. A medida que el aceite lubrica el motor, se contamina con impurezas, productos de la combustión y partículas metálicas. Este aceite usado puede ser altamente perjudicial para el medio ambiente si no se maneja adecuadamente debido a su toxicidad y su capacidad para contaminar el agua y el suelo. Sin embargo, el aceite residual de motor también tiene un potencial significativo para el reciclaje y la reutilización. A través de procesos de refinación y purificación, el aceite usado puede ser tratado para eliminar las impurezas y ser transformado en aceite base, que es la materia prima para la producción de lubricantes y otros productos relacionados. El reciclaje del aceite residual de motor tiene beneficios ambientales importantes. Primero, reduce la necesidad de extraer y refinar petróleo crudo para producir nuevos lubricantes, lo que ahorra recursos naturales y reduce la contaminación asociada con estos procesos. Además, reciclar el aceite usado evita que este contamine el medio ambiente, incluyendo los cuerpos de agua y el suelo. (Huang et al., 2022)

Propiedades

Viscosidad:

La viscosidad del aceite residual puede variar ampliamente. La viscosidad se refiere a la capacidad del aceite para fluir y lubricar las partes móviles del motor. Con el tiempo y el uso, el aceite residual tiende a volverse más viscoso, lo que significa que se vuelve más espeso y pegajoso. (Pereira y Silva, 2022)

3.3. Definición de términos

- **Aceite residual:** aceites que se recuperan después del uso en motores y que pueden ser reciclados (Humicorp, 2016).

- **Afirmado:** Carreteras cuya estructura está compuesta por capas de material compactado para proporcionar una superficie sólida y resistente para el tráfico vehicular (Yepes, 2019).
- **Superficie de rodadura:** Es la parte de la carretera sobre la cual los vehículos se desplazan. Una superficie de rodadura adecuada es esencial para la seguridad y eficiencia del tráfico (Promart Homecenter, 2020).
- **CBR (California Bearing Ratio):** “Se trata de un indicador comparativo que permite evaluar la capacidad portante de un suelo o material, en función de la profundidad alcanzada por una carga aplicada sobre una muestra previamente compactad (MTC, 2013).
- **Mejoramiento vial:** Proceso de mejoras en la infraestructura vial existente para aumentar su capacidad, seguridad y durabilidad (CON-AID Argentina S.A., 2021).
- **Estabilidad:** Capacidad de un sistema, estructura o entidad para mantener su equilibrio y resistir perturbaciones externas, ya sean físicas, económicas o de otro tipo, de manera que pueda mantener su funcionamiento o posición original (Alarcón et al., 2020).
- **Rigidez:** La rigidez se refiere a la resistencia de un material o estructura a deformarse bajo la aplicación de una carga. Indica la capacidad del material para resistir cambios en su forma o volumen y está relacionada con la elasticidad y la respuesta a las cargas estáticas. La rigidez se puede medir mediante el módulo de elasticidad o la rigidez a flexión (Seismous, 2019).
- **Deformación:** La deformación se refiere a la alteración en la forma o tamaño de un material u objeto cuando se le somete a una fuerza o carga externa. Esta puede ser de tipo elástico, donde el material retorna a su forma original al retirar la carga,

o plástica, cuando el cambio permanece de manera definitiva. Representa la forma en que un material responde frente al esfuerzo aplicado. Durante el ensayo, se registran de manera precisa las lecturas correspondientes a cada incremento de carga. (Seismous, 2019).

- **Accidentabilidad:** Propensión o incidencia de accidentes en un determinado contexto o situación. Este término aborda la frecuencia y gravedad de eventos no deseados que resultan en daño, lesiones o pérdidas materiales. (MEF, 2015)
- **Transitabilidad:** Capacidad de desplazamiento o circulación en un determinado espacio o ruta, ya sea peatonal, vehicular o de otro tipo. Este concepto implica la facilidad y accesibilidad para el movimiento de personas, vehículos o mercancías a lo largo de una infraestructura determinada, como calles, carreteras o pasillos (MEF, 2015).
- **Desempeño:** Capacidad de las superficies de rodadura para soportar el tráfico vehicular y resistir el desgaste, deformaciones y otros tipos de daños a lo largo del tiempo (Gálvez, 2023).
- **Resiliencia vial:** Capacidad de las carreteras para resistir y recuperarse de eventos adversos como desastres naturales, manteniendo su funcionalidad y estructura a lo largo del tiempo (Salian et al., 2023).
- **Anisotropía:** La anisotropía se refiere a la propiedad de un material o estructura que exhibe propiedades diferentes en diferentes direcciones. En el contexto de los pavimentos, puede referirse a la variación de propiedades mecánicas o de resistencia del pavimento en diferentes direcciones debido a la orientación de los materiales, como los agregados. La anisotropía puede influir en la respuesta del pavimento a las cargas y las condiciones de servicio (Huang et al., 2022).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación se sustenta en un enfoque de tipo aplicado, puesto que pretende ofrecer soluciones concretas a un problema específico, orientadas a contribuir al bienestar social y a la mejora de las condiciones de vida de la comunidad involucrada (Vásquez et al., 2023, p.18). “El estudio se clasifica dentro del nivel explicativo, dado que busca identificar y comprender las causas que determinan ciertos comportamientos del suelo al incorporar un aditivo oleoso residual reutilizado. Para ello, se analiza la influencia de dicho componente en las propiedades mecánicas del afirmado, específicamente en la plasticidad, el índice de soporte California (CBR) y la densidad seca máxima. Este propósito se desarrolla mediante la manipulación y el control de variables independientes en un entorno experimental, lo que permite establecer relaciones causales entre los factores evaluados” (Hernández et al., 2014).

El presente estudio adopta un diseño de tipo experimental, el cual, según lo expuesto por Hernández et al. (2018), “se caracteriza por la manipulación intencionada de tratamientos, estímulos o intervenciones denominados variables independientes con el propósito de observar y analizar los efectos que producen sobre otras variables dependientes, todo ello dentro de un contexto controlado que permite establecer relaciones causales con mayor precisión” (p.129).

4.2. Ámbito temporal y espacial

La investigación se llevó a cabo en la carretera AP-617, situada en la provincia de Abancay, perteneciente a la región de Apurímac, Perú. La elección de esta zona se fundamentó en la relevancia que posee su infraestructura vial dentro del desarrollo regional. El trabajo de tesis se ejecutó durante los años 2023 y 2024, periodo en el cual se realizaron las actividades de campo y laboratorio correspondientes al estudio.

4.3. Población y muestra

La población se define como el conjunto total de individuos o elementos que comparten una o más características comunes y que constituyen el foco central del estudio. Este grupo representa el universo del cual se pretende extraer inferencias y generalizaciones sobre el fenómeno investigado. No obstante, debido a restricciones de tiempo, recursos o accesibilidad, resulta habitual seleccionar una muestra representativa que permita realizar las observaciones y recolectar la información necesaria para el análisis (Sampieri et al., 2018).

En esta tesis, la población está constituida por la totalidad de la carretera afirmada Saywite – Cachora, AP 617.

En la tesis se empleó un método de muestreo no probabilístico, específicamente el muestreo por conveniencia, donde las muestras se eligieron según su disponibilidad y facilidad de acceso para el estudio. Aunque este tipo de muestreo no permite generalizar los resultados a toda la población, sí facilita la selección de casos con características particulares que resultan relevantes para los objetivos de la investigación” (Hernández, et al., p. 177).

“La muestra corresponde a una fracción representativa del total de la población, seleccionada con el fin de formar parte del proceso de investigación. Su elección se realiza de manera que reproduzca las características esenciales del grupo poblacional, lo cual permite a los investigadores formular inferencias y conclusiones válidas respecto al conjunto total, a partir de los resultados obtenidos en dicho segmento analizado” (Sampieri et al., 2018).

La presente tesis tuvo 01 muestra representativa como suelo patrón que corresponde a la extracción de material patrón del margen izquierdo de la carretera Abancay - Cusco correspondiente al Sector San Luis, con la finalidad de caracterizar el material. La cantera San Luis se está utilizando como selección de la muestra se basó en varios criterios, como

la representatividad, la diversidad de características de las carreteras, los tipos de suelo y la disponibilidad de recursos para realizar las mediciones. Donde se extrajo para su análisis 3 unidades muestrales para suelo patrón y 9 unidades muestrales para el afirmado estabilizado con aditivo oleoso residual reutilizado. Para facilitar su interpretación, a los componentes de las unidades muestrales se les asignó una nomenclatura específica.

Suelo Patrón: S

Aditivo oleoso residual reutilizado: AOR.

Tabla 8

Dosificación de muestras para análisis granulometría del suelo patrón

Muestra (M)	Suelo Patrón	Unidades muestrales C1
M ₀	100%	1
Total		1

Nota. La tabla 10, muestra la dosificación de muestra para el análisis granulométrico. Elaboración propia

Tabla 9

Dosificación de muestras para ensayo de plasticidad del suelo patrón

Muestra (M)	Suelo Patrón	Unidades muestrales C1
M ₀	100%	1
Total		1

Nota. La tabla 11, presenta la dosificación empleada en el ensayo para evaluar la plasticidad del suelo. Fuente: elaboración propia

Tabla 10

Dosificación de muestras para ensayo de plasticidad con aditivo oleoso residual

Muestra (M)	Suelo Patron(S)	Aditivo oleoso	
		residual reutilizado (AOR)	Unidades muestrales
M ₁	98%	2%	1
M ₂	96%	4%	1
M ₃	94%	6%	1
Total			3

Nota. La tabla 12, muestra la dosificación en porcentajes para el ensayo de plasticidad con incorporación del aceite residual. Elaboración propia

Tabla 11

Dosificación de muestras para ensayo de Proctor modificado del suelo patrón

Muestra (M)	Suelo Patrón	Unidades muestrales C1
M ₀	100%	1
Total		1

Nota. En la tabla 13 se detalla la dosificación en porcentajes utilizada para el ensayo Proctor Modificado del suelo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 12

Dosificación de muestras para ensayo de Proctor modificado con aditivo oleoso residual reutilizado

Muestra (M)	Suelo Patron (S)	Aditivo oleoso	
		residual reutilizado (AOR)	Unidades muestrales
M ₁	98%	2%	1
M ₂	96%	4%	1
M ₃	94%	6%	1
Total			3

Nota. La tabla 14, muestra la dosificación en porcentajes. Elaboración propia

Tabla 13*Dosificación de muestras para ensayo CBR del suelo patrón*

Muestra (M)	Suelo Patrón	Unidades muestrales C1
M ₀	100%	1
Total		1

Nota. La tabla 15, muestra la dosificación en porcentajes para el ensayo de CBR del suelo.

Tabla 14*Dosificación de muestras para ensayo CBR con aditivo oleoso residual*

Muestra (M)	Suelo (S)	Aditivo oleoso	
		residual reutilizado (AOR)	Unidades muestrales
M ₁	98%	2%	1
M ₂	96%	4%	1
M ₃	94%	6%	1
Total			3

Nota. La tabla 16, muestra la dosificación en porcentajes del proctor modificado con incorporación del aceite residual. Elaboración propia

4.4. Instrumentos

Para la ejecución de esta tesis, se empleó una ficha como herramienta fundamental en la recopilación de datos. La información se obtuvo utilizando métodos uniformes y estandarizados, aplicados de manera consistente en todos los casos. La recolección se realizó principalmente mediante observación directa, mediciones precisas y la consulta de documentos relevantes. Se recurrió a instrumentos previamente validados en otras investigaciones o, en su defecto, se diseñaron nuevos a partir de la revisión bibliográfica, los cuales fueron sometidos a prueba y ajustados según fue necesario” (Hernández et al., 2014, p.12).

Esta ficha ofrece un formato estructurado que facilita el registro de datos bien ordenados, coordinados y detallados, asegurando la recopilación de información importante para evaluar adecuadamente el proceso de aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en las carreteras afirmadas.

Para el registro de información se usaron formatos que cumplan con los ensayos de mecánica del suelo y la Norma Técnica Peruana (NTP). Este procedimiento aporta de manera sustancial a garantizar la exactitud y la veracidad de los datos recolectados durante el desarrollo de la tesis.

Tabla 15

Instrumentos utilizados para cada ensayo.

Ensayo	Instrumento utilizado	Norma técnica utilizada
Granulometría	Formato de granulometría	MTC E 107
Contenido de humedad	Formato de contenido de humedad	MTC E 108
Límites de consistencia	Formato de limite líquido y	MTC E 110
	limite plástico	MTC E 111
Proctor modificado	Formato de Proctor modificado	MTC E 115
CBR de suelos (laboratorio)	Formato CBR	MTC E 132

Nota. La tabla 17 presenta los formatos y guías utilizados durante los ensayos de laboratorio.

4.5. Procedimientos

Recolección de información

La obtención de la información se efectuó a lo largo del tramo correspondiente a la carretera AP 617, conocida como la vía Saywite – Cachora. Las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo en las instalaciones de Lunix Ingenieros S.R.L., con RUC N.º 20610822178, donde se emplearon las normas técnicas y manuales establecidos para cada procedimiento:

- Norma E.050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).
- Norma E.030 Diseño Sismo Resistente del RNE.
- Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Norma Técnica Peruana (NTP)

Las pruebas fueron ejecutadas conforme a las directrices definidas en el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras EM-2016.

4.6. Análisis de datos

Para el análisis estadístico se hizo uso del método de Análisis de Varianza (Anova) con comparaciones entre grupos mediante la prueba Tukey. Para lo cual, se verifico tres supuestos estadísticos fundamentales.

Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk:

Se utiliza para comprobar si los datos siguen una distribución normal.

Si el valor $p > 0.05$, se acepta la normalidad de los datos.

Homogeneidad de varianzas:

Se verifico si los grupos presentan variaciones homogéneas.

Comparación de Grupos con Tukey:

Una vez verificados los supuestos correspondientes, se procedió con la aplicación de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, la cual permite detectar diferencias estadísticamente significativas entre grupos determinados dentro del análisis.

Se desarrollo un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$). Posteriormente, se realizó la prueba ANOVA para garantizar que no existieran falsos positivos que pudieran generar errores en el análisis de los datos.

Hipótesis nula (H_0): No hay diferencias significativas en los efectos del aditivo oleoso residual reutilizado sobre las propiedades del afirmado.

Hipótesis alternativa (H_1): Existen diferencias significativas en al menos una de las propiedades del afirmado debido a la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado

4.7. Consideraciones éticas

En primer término, se obtuvo el consentimiento informado de todos los actores implicados en la investigación, incluyendo a las autoridades locales, las comunidades participantes y las instituciones colaboradoras. Se garantizó la confidencialidad de la información recolectada, empleando los datos únicamente con fines científicos y preservando el anonimato de los participantes en los informes y publicaciones derivados del estudio.

Asimismo, se observó estrictamente el principio de no maleficencia, asegurando que ninguna de las acciones o procedimientos experimentales ejecutados generara perjuicios físicos, psicológicos o sociales a los involucrados. Se implementaron medidas preventivas orientadas a proteger la integridad, la seguridad y el bienestar tanto de los participantes como de cualquier persona potencialmente afectada por las actividades desarrolladas.

Del mismo modo, se aplicó el principio de justicia, procurando que todas las personas y entidades participantes recibieran un trato equitativo y digno, sin discriminación por motivos de origen étnico, género, religión u otras características personales.

Finalmente, se mantuvo un compromiso ético con la transparencia y la veracidad en la presentación de los hallazgos, evitando sesgos o interpretaciones tendenciosas de los resultados. Todas las fuentes y referencias empleadas fueron debidamente reconocidas, garantizando la integridad académica y la prevención de cualquier forma de plagio.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

Resultados respecto al objetivo específico 1

Analizar la influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

Tabla 16

Resultados de influencia del aceite residual en la plasticidad del afirmado

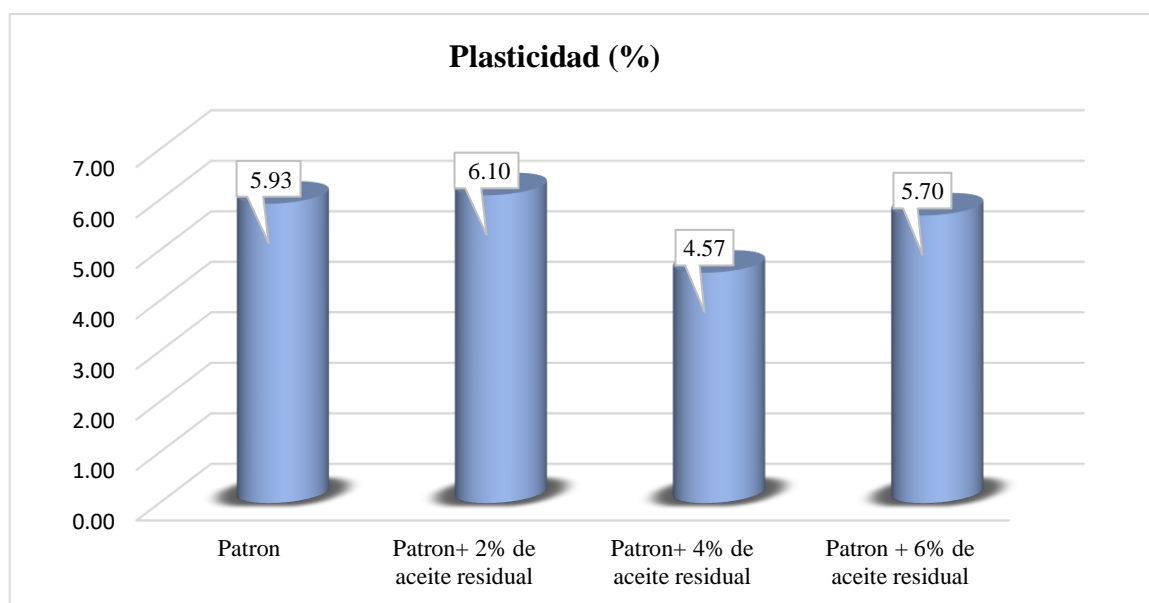
Plasticidad (%)	Patron	2% de aceite	4% de aceite	6% de aceite
M-1	5.80	6.60	4.10	4.30
M-2	4.40	5.80	5.10	5.50
M-3	7.60	5.90	4.50	7.30
Media Índice Plástico (%)	5.93	6.10	4.56	5.70
Desviación estándar	1.60	0.43	0.50	1.50

Nota. La tabla 16 muestra cómo varía la plasticidad del afirmado según los porcentajes de AOR aplicados. Elaboración propia

Según la tabla 16, se evidencia que el índice de plasticidad (IP) del afirmado varía al incorporar aditivo oleoso residual reutilizado en proporciones del 2%, 4% y 6%, obteniéndose valores de 5.93%, 6.10%, 4.57% y 5.70%, respectivamente. La mayor plasticidad se registra con la dosificación del 2%, alcanzando un IP de 6.100%.

Figura 7

Resultados de influencia del aditivo oleoso residual en la plasticidad del afirmado



Nota. La figura 7, muestra los porcentajes de plasticidad del afirmado. Elaboración propia

En el gráfico 7 se aprecia que, a medida que la dosificación supera el 2% la plasticidad del afirmado tiende a disminuir.

Resultados respecto al objetivo específico 2

Evaluar la influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en la máxima densidad seca del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

Tabla 17

Resultados de influencia del aditivo oleoso residual en la densidad máxima seca del afirmado

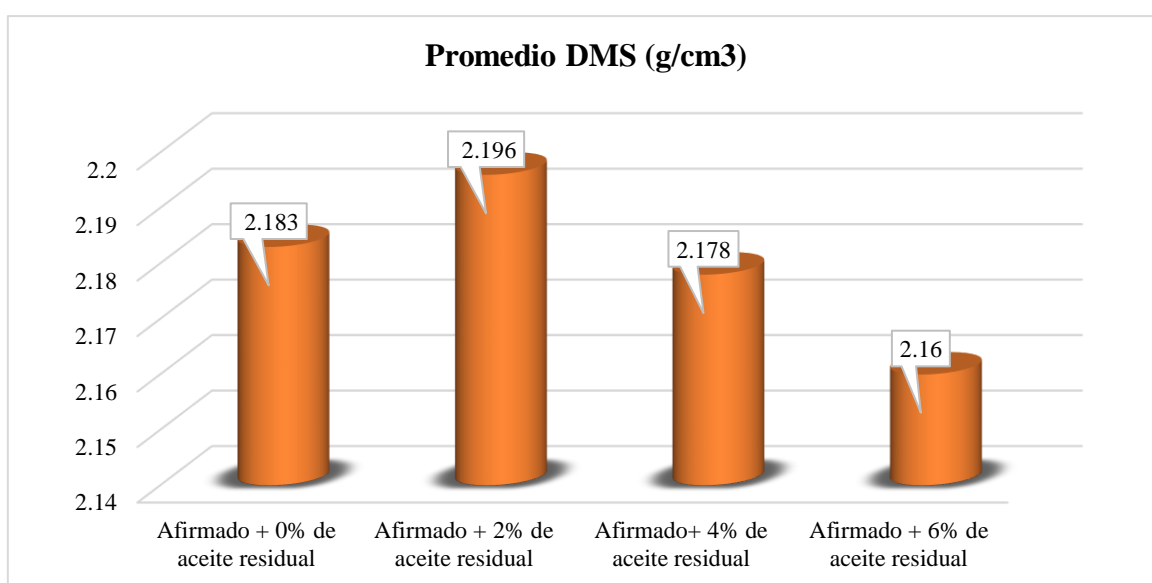
Densidad máxima seca (g/ cm ³)	Patron	2% de aceite	4% de aceite	6% de aceite
M-1	2.189	2.195	2.180	2.161
M-2	2.181	2.199	2.177	2.156
M-3	2.178	2.194	2.179	2.164
Media DMS (g/ cm³)	2.183	2.196	2.178	2.160
Desviación estándar	0.005	0.002	0.001	0.004

Nota. La Tabla 17 muestra cómo varía la densidad seca máxima del afirmado conforme se incrementan los porcentajes de AOR empleados en las muestras. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 17 se observa que la densidad seca máxima (MDS) del afirmado presenta variaciones al incorporar AOR en proporciones del 2%, 4% y 6%, registrándose valores de 2.183 g/cm³, 2.196 g/cm³, 2.178 g/cm³ y 2.160 g/cm³, respectivamente. La mayor MDS se logra con la dosificación del 2%, registrando un valor de 2.196 g/cm³.

Figura 8

Resultados de influencia del aditivo oleoso residual en la máxima densidad seca del afirmado



Nota. La figura 8, muestra los resultados de la máxima densidad seca del afirmado. Elaboración propia.

En el gráfico 8, muestra que a medida que aumentan las dosificaciones de aceite, la máxima densidad seca del afirmado tiende a disminuir.

Resultados respecto al objetivo específico 3

Cuantificar la influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en la capacidad resistente del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

Tabla 18

Resultados de influencia del aditivo oleoso en la densidad máxima seca del afirmado

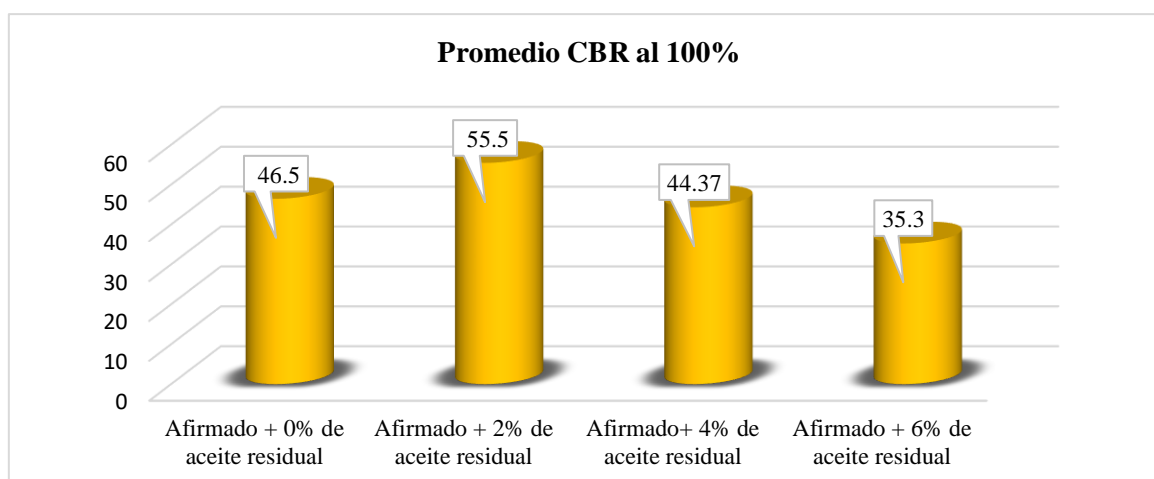
CBR AL 100% de la DMS (%)	Patron	2% de aceite	4% de aceite	6% de aceite
M-1	47.200	54.600	44.000	35.000
M-2	46.700	56.700	44.100	34.400
M-3	45.600	55.200	45.000	36.500
Media CBR al 100%	46.500	55.500	44.366	35.300
Desviación estándar	0.81	1.08	0.55	1.08

Nota. La tabla 18, muestra cómo varía la máxima densidad seca del afirmado según los porcentajes de aceite residual de motor aplicados. Elaboración propia.

En la tabla 18 se evidencia que el valor de CBR del afirmado varía según la dosificación de AOR, considerando el caso sin adición y las mezclas con 2%, 4% y 6%, obteniéndose resultados de 46.50%, 55.50%, 44.37% y 35.30%, respectivamente. La mayor resistencia CBR se alcanza con la incorporación del 2% de aceite residual, registrando un valor de 55.50%.

Figura 9

Resultados de influencia del aditivo oleoso residual en el CBR del afirmado



Nota. La figura 09, muestra los resultados del CBR del afirmado. Elaboración propia

El gráfico 09, ilustra que, a medida que la dosificación de AOR supera 2%, el CBR del afirmado tiende a disminuir.

Resultados respecto al objetivo general

Determinar la influencia de aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

Tabla 19

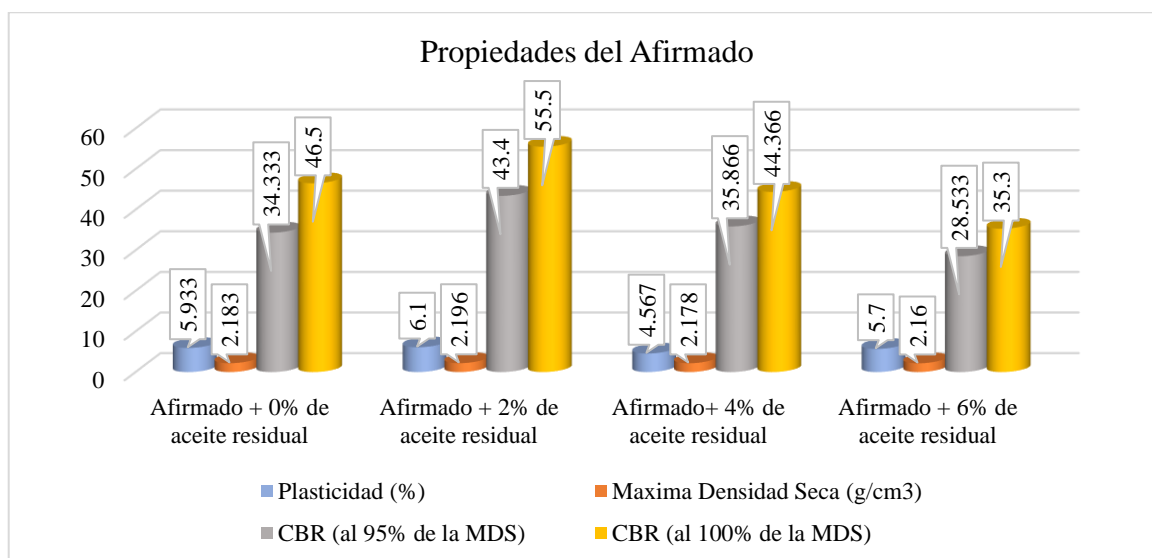
Resultados de influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado

Ensayos	Patron	2% de aceite	4% de aceite	6% de aceite
Plasticidad (%)	5.933	6.100	4.567	5.700
Máxima Densidad Seca (g/cm ³)	2.183	2.196	2.178	2.160
CBR (al 95% de la MDS)	34.333	43.400	35.866	28.533
CBR (al 100% de la MDS)	46.500	55.500	44.366	35.300

Nota. La tabla 19, presenta la variación de los resultados al incorporar el aditivo oleoso residual en el afirmado. Elaboración propia

Figura 10

Resultados de influencia del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado



Nota. La figura 10, nos muestra los resultados generales del efecto del AOR en el afirmado. Elaboración propia

En la tabla 19 y la figura 10; se evidencia que el aditivo oleoso residual reutilizado tiene un impacto en las propiedades del afirmado. Según los resultados la plasticidad tiende a aumentar alcanzando su máximo valor al agregarle el 2% de AOR, así mismo la máxima

densidad y el CBR al 95% y 100% muestran tendencia al aumentar. Esto indica que aditivo oleoso residual reutilizado ejerce una influencia en el afirmado con una dosificación óptima del 2%. Se obtuvo un incremento de la plasticidad de 5.933% a 6.100%, un valor máximo de 2.196 gr/ cm³ en la máxima densidad seca y un incremento favorable del CBR al 95% de la MDS de 34.333% a 43.400%, por otra parte, para el del CBR al 100% de la MDS se obtuvo un incremento favorable de 46.500% a 55.500%.

Contrastación de hipótesis

Contrastación de hipótesis específica 1

HE1: El aditivo oleoso residual reutilizado influye en la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk a la plasticidad del afirmado:

Hipótesis nula (H₀): Los datos siguen una distribución normal

Hipótesis alterna (H_a): Los datos no siguen una distribución normal

Tabla 20

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al índice de plasticidad del afirmado

Ensayo	Grupos	Estadístico	gl	P-valor.
	0	0,995	3	0,862
Índice de plasticidad	2	0,842	3	0,220
	4	0,987	3	0,780
	6	0,987	3	0,780

Nota. La tabla 20, muestra datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 20, el P- valor es mayor al nivel de significancia de 0.05, entonces aceptamos la hipótesis nula H₀. Los datos siguen una distribución normal.

Prueba de homogeneidad a la plasticidad del afirmado:

Hipótesis nula (H₀): Las varianzas son homogéneas

Hipótesis alterna (H_a): Las varianzas son heterogéneas

Tabla 21*Prueba de homogeneidad de varianzas al índice de plasticidad*

Ensayo	Descrip.	Estadístico de Levene	gl1	gl2	P-valor.
Índice de plasticidad	Se basa en la media	1.608	3	8	0.263
	Se basa en la mediana	1.101	3	8	0.403
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.101	3	5.063	0.429
	Se basa en la media recortada	1.576	3	8	0.269

Nota. La tabla 21, muestra datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 21, el P- valor es mayor al nivel de significancia de 0.05, entonces aceptamos la hipótesis nula H_0 .

Prueba ANOVA al índice de plasticidad del afirmado:

H_0 : Hipótesis Nula: No existe influencia al aplicar aditivo oleoso residual reutilizado en la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac 2023.

H_1 : Hipótesis Alternativa: Sí existe influencia al aplicar aditivo oleoso residual reutilizado en la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac 2023.

Tabla 22*Prueba ANOVA al índice de plasticidad del afirmado*

Descripción	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P-valor.
Entre grupos	4.309	3	1.436	1.085	0.409
Dentro de grupos	10.593	8	1.324		
Total	14.903	11			

Nota. La tabla 22, muestra datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 22, el P-valor=0.409 es mayor al nivel de significancia de 0.05, entonces rechazamos la hipótesis alternativa.

Prueba de comparaciones múltiples por TUKEY al índice de plasticidad del afirmado:

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia significativa entre las medias de los grupos

Hipótesis alterna (H_a): Al menos una pareja de medias es significativamente diferente.

Tabla 23

Comparaciones múltiples por TUKEY al índice de plasticidad del afirmado

(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	P-valor
0%	2% A. R	-0.16667	0.93956	0.998
	4% A. R	1.36667	0.93956	0.504
	6% A. R	0.23333	0.93956	0.994
2% A. R	0%	0.16667	0.93956	0.998
	4% A. R	1.53333	0.93956	0.415
	6% A. R	0.40000	0.93956	0.972
4% A. R	0%	-1.36667	0.93956	0.504
	2% A. R	-1.53333	0.93956	0.415
	6% A. R	-1.13333	0.93956	0.640
6% A. R	0%	-0.23333	0.93956	0.994
	2% A. R	-0.40000	0.93956	0.972
	4% A. R	1.13333	0.93956	0.640

Nota. La tabla 23, muestra datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

Según los resultados presentados en la Tabla 23, el análisis de comparaciones múltiples efectuado mediante el método de Tukey para las muestras con concentraciones de 2%, 4% y 6% de aceite de motor reciclado revela que todos los valores de p superan el umbral de significancia establecido en 0.05. En consecuencia, se mantiene la hipótesis nula, lo que demuestra que la incorporación del aceite de motor reutilizado no produce un efecto estadísticamente significativo en la plasticidad del material de afirmado.

Contrastación de hipótesis específica 2

HE2: El aditivo oleoso residual reutilizado influye en la máxima densidad seca del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk a la plasticidad del afirmado:

Hipótesis nula (H_0): Los datos siguen una distribución normal

Hipótesis alterna (H_a): Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 24

Prueba de normalidad en la máxima densidad seca del afirmado

Ensayo	Grupos	Estadístico	gl	Sig.
	0	0,936	3	0,510
Máxima densidad	2	0,893	3	0,363
seca	4	0,964	3	0,637
	6	0,980	3	0,726

Nota. La tabla 24, muestra la prueba realizada por Shapiro-Wilk Datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 24, el valor de p obtenido es superior al nivel de significancia establecido de 0.05, lo que permite mantener la validez de la hipótesis nula (H_0). Este resultado evidencia que los datos analizados presentan un comportamiento compatible con una distribución normal, confirmando la homogeneidad estadística de la muestra evaluada.

Prueba de homogeneidad a la plasticidad del afirmado:

Hipótesis nula (H_0): Las varianzas son homogéneas.

Hipótesis alterna (H_a): Las varianzas son heterogéneas.

Tabla 25

Prueba de homogeneidad de varianzas a la máxima densidad seca del afirmado

Ensayo	Descrip.	Estadístico de Levene	gl1	gl2	P-valor.
Máxima densidad seca	Se basa en la media	1.941	3	8	0.202
	Se basa en la mediana	0.583	3	8	0.642
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.583	3	4800	0.652
	Se basa en la media recortada	1.807	3	8	0.224

Nota. La tabla 25, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia

Según lo mostrado en la tabla 25, el valor p excede el umbral de significancia de 0.05, lo que permite aceptar la hipótesis nula (H_0), indicando que no se evidencian diferencias estadísticamente significativas en los datos analizados.

Prueba ANOVA a la máxima densidad seca del afirmado:

H_0 : Hipótesis Nula: No existe influencia al aplicar aditivo oleoso residual reutilizado en la máxima densidad seca del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac 2023.

H_1 : Hipótesis Alternativa: Sí existe influencia al aplicar aditivo oleoso residual reutilizado en la máxima densidad seca del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac 2023.

Tabla 26

Prueba ANOVA a la máxima densidad seca del afirmado

Descripción	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P-valor.
Entre grupos	0.002	3	0.001	44.849	0.000
Dentro de grupos	0.000	8	0.00		
Total	0.002	11			

Nota. La tabla 26, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 26, el valor de p obtenido (0.000) se encuentra por debajo del nivel de significancia establecido en 0.05, lo que permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa. En consecuencia, se determina que la adición de aceite de motor residual ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad seca del material de afirmado correspondiente a la vía AP-617, localizada en la provincia de Abancay, región Apurímac, durante el año 2023.

Prueba de comparaciones múltiples por TUKEY a la máxima seca del afirmado

Hipótesis nula (H_0): No se observa una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes a los grupos analizados.

Hipótesis alternativa (H_a): Al menos una de las comparaciones entre las medias de los grupos presenta una diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 27

Comparaciones múltiples por TUKEY a la máxima densidad seca del afirmado

(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	P-valor
0% A. R	2% A. R	-0.01333	0.00311	0.011
	4% A. R	0.00400	0.00311	0.595
	6% A. R	0.02233	0.00311	0.000
2% A. R	0%	0.01333	0.00311	0.011
	4% A. R	0.01733	0.00311	0.002
	6% A. R	0.03567	0.00311	0.000
4% A. R	0%	-0.00400	0.00311	0.595
	2% A. R	-0.01733	0.00311	0.002
	6% A. R	0.01833	0.00311	0.002
6% A. R	0%	-0.02233	0.00311	0.000
	2% A. R	-0.03567	0.00311	0.000
	4% A. R	-0.01833	0.00311	0.002

Nota. La tabla 27, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

A partir de la tabla 27, se puede apreciar que, en la comparación de grupos mediante el test de TUKEY, al incorporar aceite reciclado de motor en proporciones del 2%, 4% y 6% al afirmado, el valor p resultó inferior a 0.05, lo que conlleva a aceptar la hipótesis alternativa, evidenciando diferencias significativas entre los grupos evaluados.

Contrastación de hipótesis específica 3

HE3: El aditivo oleoso residual reutilizado influye en la capacidad resistente del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac – 2023.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk al California Bearing Ratio (CBR) del 95% de la MDS del afirmado:

Hipótesis nula (H_0): Los datos siguen una distribución normal.

Hipótesis alterna (H_a): Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 28

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al CBR del 95% de la MDS del afirmado

Ensayo	Grupos	Estadístico	gl	P-valor
	0	0,964	3	0,637
CBR al 95% de la	2	0,855	3	0,253
MDS	4	0,847	3	0,232
	6	0,947	3	0,554

Nota. La tabla 28, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 28, el valor de p obtenido es superior al nivel de significancia establecido de 0.05, lo que conlleva a aceptar la hipótesis nula (H_0). Este resultado confirma que los datos analizados presentan un comportamiento compatible con una distribución normal, evidenciando la homogeneidad estadística de la muestra evaluada.

Prueba de homogeneidad al California Bearing Ratio (CBR) del 95% de la MDS del afirmado:

Hipótesis nula (H_0): Las varianzas son homogéneas.

Hipótesis alterna (H_a): Las varianzas son heterogéneas.

Tabla 29

Prueba de homogeneidad de varianzas al California Bearing Ratio (CBR) del 95% de la MDS del afirmado

Ensayo	Descrip.	Estadístico de Levene	gl1	gl2	P-valor.
CBR al 95% de la MDS	Se basa en la media	2.702	3	8	0.116
	Se basa en la mediana	0.310	3	8	0.817
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.310	3	4.004	0.818
	Se basa en la media recortada	2.325	3	8	0.151

Nota. La tabla 29, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, ©

IBM 2024. Elaboración propia.

Según los resultados expuestos en la Tabla 29, el valor de p obtenido supera el nivel de significancia fijado en 0.05, lo que permite mantener la validez de la hipótesis nula (H_0). Este hallazgo sugiere que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados, evidenciando una similitud en su comportamiento dentro del análisis realizado.

Prueba ANOVA al CBR del 95% de la MDS del afirmado:

H_0 : Hipótesis Nula: No existe influencia al aplicar aditivo oleoso residual reutilizado en el CBR del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac 2023.

H_1 : Hipótesis Alterna: Sí existe influencia al aplicar aditivo oleoso residual reutilizado en el CBR del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac 2023.

Tabla 30

Prueba ANOVA al CBR del 95% de la MDS del afirmado

Descripción	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P-valor.
Entre grupos	337.307	3	112.436	65.180	0.000
Dentro de grupos	13.800	8	1.725		
Total	351.107	11			

Nota. La tabla 30, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, ©

IBM 2024. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 30, el valor de p obtenido (0.000) es inferior al nivel de significancia establecido en 0.05. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que evidencia la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los resultados analizados. Este hallazgo permite concluir que la adición del aditivo oleoso residual reutilizado ejerce una influencia significativa sobre los valores del índice de soporte California (CBR) del material de afirmado correspondiente a la vía AP-617, en el tramo Abancay–Apurímac, durante el año 2023.

Prueba de comparaciones múltiples por TUKEY al CBR del 95% de la MDS del afirmado.

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia significativa entre las medias de los grupos

Hipótesis alterna (H_a): Al menos una pareja de medias es significativamente diferente.

Tabla 31

Comparaciones múltiples por TUKEY al CBR del 95% de la MDS del afirmado

(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	P-valor
0% A. R	2% A. R	-9.06667	1.07238	0.000
	4% A. R	-1.53333	1.07238	0.517
	6% A. R	5.80000	1.07238	0.003
2% A. R	0%	9.06667	1.07238	0.000
	4% A. R	7.53333	1.07238	0.001
	6% A. R	14.86667	1.07238	0.000
4% A. R	0%	1.53333	1.07238	0.517
	2% A. R	-7.53333	1.07238	0.001
	6% A. R	7.33333	1.07238	0.001
6% A. R	0%	-5.80000	1.07238	0.003
	2% A. R	-14.86667	1.07238	0.000
	4% A. R	-7.33333	1.07238	0.001

Nota. La tabla 31, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 31, el análisis comparativo de grupos realizado mediante la prueba de Tukey demuestra que la incorporación de 2%, 4% y 6% de aceite de motor reciclado en el material de afirmado genera un valor de p inferior al nivel de significancia establecido de 0.05. Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que confirma que el aceite reciclado ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre el valor del índice CBR, con un nivel de confianza del 95%, en relación con la densidad seca máxima obtenida

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk al CBR del 100% de la MDS del afirmado:

Hipótesis nula (H₀): Los datos siguen una distribución normal

Hipótesis alterna (H_a): Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 32

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al CBR del 100% de la MDS del afirmado

Ensayo	Grupos	Estadístico	gl	Sig.
	0	0,955	3	0,593
CBR al 100% de	2	0,942	3	0,537
la MDS	4	0,824	3	0,174
	6	0,942	3	0,537

Nota. La tabla 32, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

De acuerdo con lo que se muestra en la tabla 32, el p-valor calculado es mayor al nivel de significancia establecido de 0.05, lo que conlleva a la aceptación de la hipótesis nula (H_0). Esto sugiere que los datos examinados exhiben un comportamiento compatible con una distribución normal.

Prueba de homogeneidad al CBR del 100% de la MDS del afirmado:

Hipótesis nula (H_0): Las varianzas son homogéneas.

Hipótesis alterna (H_a): Las varianzas son heterogéneas.

Tabla 33

Prueba de homogeneidad de varianzas al CBR del 100% de la MDS del afirmado

Ensayo	Estadístico de Levene	gl1	gl2	P-valor.
	0.678	3	8	0.590
	0.216	3	8	0.883
CBR al 100% de la MDS	0.216	3	7.103	0.882
	0.630	3	8	0.616

Nota. La tabla 33, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

Según lo mostrado en la tabla 35, al obtener un P-valor superior al nivel de significancia de 0.05, se procede a aceptar la hipótesis nula H_0 , lo cual sugiere que no se evidencian diferencias estadísticamente significativas en los datos evaluados.

Prueba ANOVA al CBR del 100% de la MDS del afirmado:

H_0 : Hipótesis Nula: No existe influencia al aplicar aditivo oleoso residual reutilizado en la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac 2023.

H_1 : Hipótesis Alternativa: Sí existe influencia al aplicar aditivo oleoso residual reutilizado en la plasticidad del afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac 2023.

Tabla 34

Prueba ANOVA al CBR del 100% de la MDS del afirmado

Descripción	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P-valor.
Entre grupos	618.890	3	206.297	249.050	0.000
Dentro de grupos	6.627	8	0.828		
Total	625.517	11			

Nota. La tabla 34, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 34, el P-valor=0.000 es menor al nivel de significancia de 0.05, entonces aceptamos la hipótesis alternativa.

Prueba de comparaciones múltiples por TUKEY al CBR del 100% de la MDS del afirmado

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia significativa entre las medias de los grupos

Hipótesis alterna (H_a): Al menos una pareja de medias es significativamente diferente.

Tabla 35

Comparaciones múltiples por TUKEY al CBR del 100% de la MDS del afirmado

(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	P-valor
0% A. R	2% A. R	-9.00000	0.74312	0.000
	4% A. R	2.13333	0.74312	0.080
	6% A. R	11.20000	0.74312	0.000
2% A. R	0%	9.00000	0.74312	0.000
	4% A. R	11.13333	0.74312	0.000
	6% A. R	20.20000	0.74312	0.000
4% A. R	0%	-2.13333	0.74312	0.080
	2% A. R	-11.13333	0.74312	0.000
	6% A. R	9.06667	0.74312	0.000
6% A. R	0%	-11.20000	0.74312	0.000
	2% A. R	-20.20000	0.74312	0.000
	4% A. R	-9.06667	0.74312	0.000

Nota. La tabla 35, muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024. Elaboración propia.

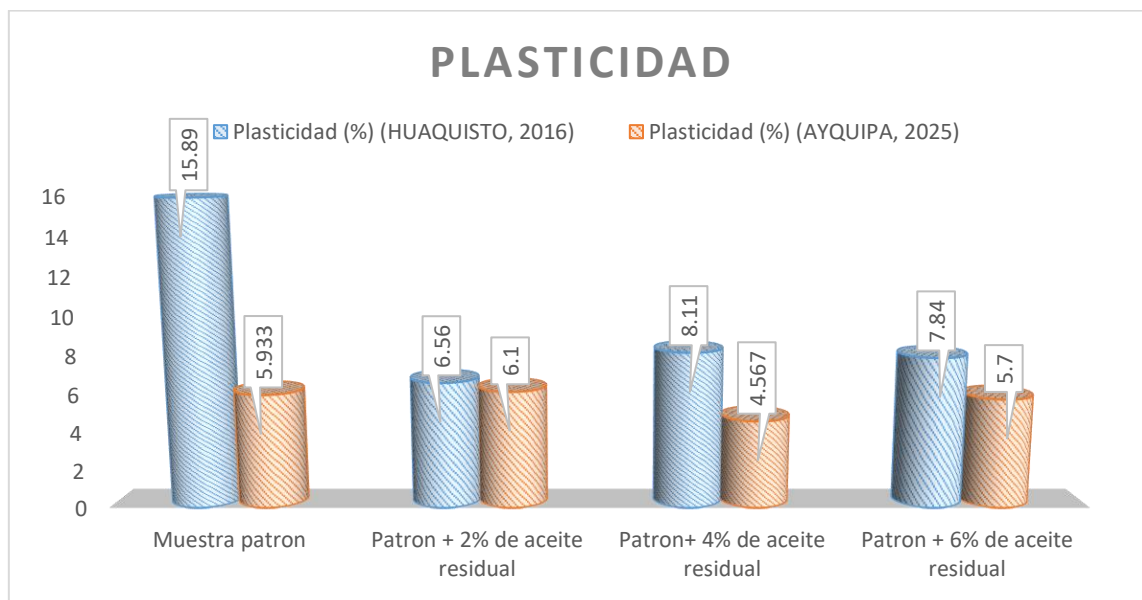
Según los resultados presentados en la Tabla 35, el análisis comparativo de grupos mediante la prueba de Tukey revela que, al incorporar concentraciones de 2%, 4% y 6% de aceite de motor reciclado en el material de afirmado, los valores de p obtenidos en todos los casos son inferiores al nivel de significancia de 0.05. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que demuestra que la adición del aceite reciclado ejerce una influencia estadísticamente significativa sobre el índice de soporte California (CBR) correspondiente al 100% de la máxima densidad seca alcanzada.

5.2. Discusiones

5.3.1. Discusión al objetivo específico 01

Figura 11

Análisis comparativo de valores del índice de plasticidad



Nota. La figura 11, muestra los porcentajes del índice de plasticidad. Elaboración propia.

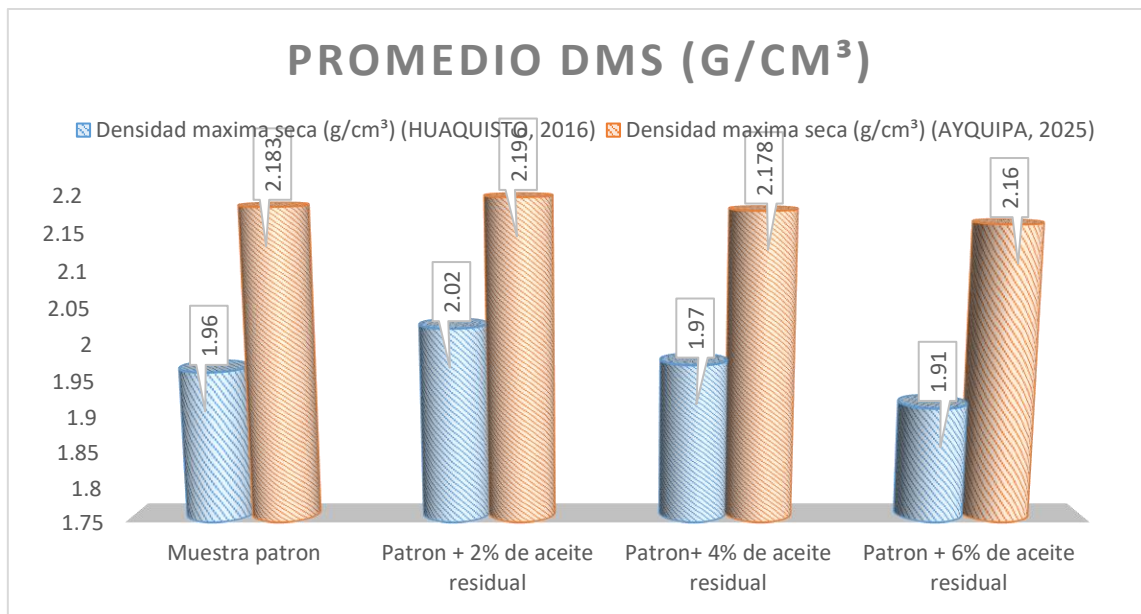
El figura 11, compara la plasticidad del suelo según los estudios de Huaquisto (2016), y Ayquipa (2025), evaluando una muestra patrón y mezclas con 2%, 4% y 6% de aceite residual. Se observa que la muestra sin aditivos presenta una plasticidad mucho mayor en el estudio de Huaquisto. Al añadir 2% de aceite, ambos estudios coinciden en una notable reducción de la plasticidad, lo que indica que el aceite actúa como reductor de cohesión en el suelo. Con 4% de aceite, los resultados difieren: Huaquisto reporta un leve aumento, mientras Ayquipa muestra una mayor disminución. Al llegar al 6%, ambos estudios registran un ligero incremento, sin alcanzar los niveles iniciales.

Se infiere, el aceite residual reduce la plasticidad del suelo de forma no lineal, y su efectividad depende del tipo de suelo y condiciones del ensayo, siendo útil en procesos de estabilización si se emplea de forma controlada.

5.3.2. Discusión al objetivo específico 02

Figura 12

Análisis comparativo de valores de densidad máxima seca.



Nota. La figura 12, muestra los promedios de densidad máxima seca. Elaboración propia.

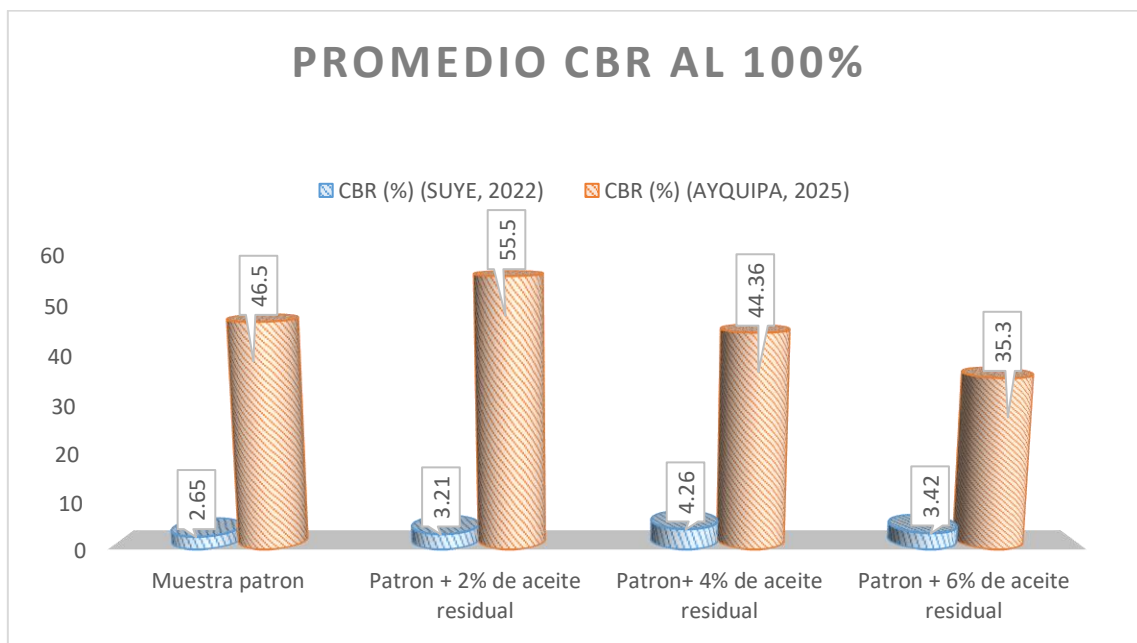
La figura 12, muestra cómo varía la densidad máxima seca (DMS) del suelo al añadir diferentes porcentajes de aceite residual, comparando dos tipos de suelo: Huaquisto (2016), y Ayquipa (2025). En su estado original (muestra patrón), el suelo Ayquipa tiene una DMS mayor 2.183 g/cm³ que Huaquisto con 1.96 g/cm³, indicando una mejor compactación natural. Al incorporar un 2% de aceite, ambos suelos mejoran su DMS, lo que sugiere que pequeñas cantidades de aceite ayudan a compactar mejor el suelo. Sin embargo, al aumentar a 4% y 6%, la DMS comienza a disminuir en ambos casos. Esto indica que el exceso de aceite interfiere con la estructura del suelo, reduciendo su capacidad de compactación.

Se deduce, el uso moderado de aceite residual puede ser beneficioso para mejorar la densidad del suelo, pero dosis elevadas generan efectos negativos. El suelo Ayquipa mostró mayor resistencia a estos cambios que el Huaquisto.

5.3.3. Discusión al objetivo específico 03

Figura 13

Análisis comparativo de valores del CBR



Nota. La figura 13, muestra los porcentajes del CBR. Elaboración propia.

La figura 13, presenta los valores del CBR al 100% para una muestra patrón y para tres mezclas de suelo con 2%, 4% y 6% de aceite residual, evaluadas en dos estudios: Suye (2022), y Ayquipa (2025).

En la muestra patrón, se observa una gran diferencia entre los estudios: el valor CBR es de apenas 2.65% Suye (2022), frente a 46.5% Ayquipa. Esta discrepancia puede explicarse por variaciones en el tipo de suelo, la preparación de la muestra o los procedimientos empleados. Con la adición de 2% de aceite residual, ambos estudios muestran un aumento en el CBR: 3.21% y 55.5%. Esto sugiere que una pequeña cantidad de aceite mejora la capacidad de soporte del suelo. Al llegar al 4% de aceite residual, el CBR mejora aún más al 4.26%, aunque en la tesis se reduce a 43.36% al 100% de la DMS, lo cual podría deberse a una posible saturación o cambio en la estructura del suelo que afecta negativamente la compactación. Finalmente, con 6% de aceite residual, ambos estudios

reflejan una disminución del CBR: 3.42% y 35.3%. Esto indica que un exceso de aceite puede reducir la fricción entre partículas, disminuyendo la resistencia del suelo.

Los resultados indican que el aceite residual puede mejorar la resistencia del suelo, especialmente en pequeñas proporciones. Sin embargo, cantidades mayores no garantizan una mejora continua y podrían incluso afectar negativamente las propiedades del suelo.

VI. Conclusiones

Conclusiones respecto al objetivo específico 1

En el análisis al índice de plasticidad se demostró que no existe influencia al adicionar el aceite residual en el material de afirmado, explicados por el valor resultante de la prueba de ANOVA que arrojó p-valor igual a 0,409. Sin embargo, se halló que modifica el índice de plasticidad del afirmado, pues se observó que para la dosificación al 2% se obtuvo el valor más alto del índice de plasticidad 6.10%, lo cual se encuentra dentro del margen aceptable según la normativa peruana vigente. Sin embargo, al incrementar la cantidad de adición de aceite residual la plasticidad disminuye, lo cual afectaría en la cohesión del suelo.

Conclusiones respecto al objetivo específico 2

Del análisis realizado sobre la máxima densidad seca, se concluye que la incorporación de aditivo oleoso residual reutilizado en proporciones de 0%, 2%, 4% y 6% genera variaciones en los valores del afirmado. Se evidencia que al aplicar un 2% de aceite residual se logra un nivel de compactación favorable; sin embargo, al aumentar su proporción, se nota una disminución paulatina en la densidad seca alcanzada, lo cual afecta negativamente la capacidad del suelo para resistir cargas, comprometiendo así su rendimiento estructural.

Conclusiones respecto al objetivo específico 3

Del análisis realizado sobre la máxima densidad seca, se concluye que la incorporación de aditivo oleoso residual reutilizado en proporciones de 0%, 2%, 4% y 6% genera variaciones en los valores del afirmado. Se evidencia que al aplicar un 2% de aceite residual se logra un nivel de compactación favorable; sin embargo, al aumentar su proporción, se nota una disminución paulatina en la densidad seca alcanzada, lo cual afecta negativamente la capacidad del suelo para resistir cargas, comprometiendo así su

rendimiento estructural, notando así la influencia significativa, sin embargo, al incrementar la dosificación por encima del valor ya mencionado, la resistencia del afirmado disminuye, lo cual muestra que un exceso de aceite afecta negativamente la capacidad óptima del material.

Conclusiones respecto al objetivo general

Se determinó que la adición de aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurímac, genera cambios significativos en sus propiedades tanto en la plasticidad, densidad seca y la capacidad portante o de soporte (CBR), se muestra que la dosificación del 2% de aceite residual optimiza la plasticidad y el CBR y mejora levemente la máxima densidad seca del material, sin embargo en todos los casos al incrementar su dosificación estas propiedades disminuyen sus valores lo cual limita su aplicación a concentraciones menores al 2%.

VII. Recomendaciones

Recomendaciones respecto a la conclusión específico 1

Se recomienda hacer ensayos de plasticidad con porcentajes inferiores al 2% de aditivo oleoso residual reutilizado, en suelos destinados a afirmados y proyectos viales, ya que este porcentaje mejora la plasticidad, capacidad de soporte y densidad seca.

Recomendaciones respecto al conclusión específica 2

Se recomienda realizar un tratamiento con la aplicación de aditivo oleoso residual reutilizado a nivel de subrasante o subbase, puesto que el material de cantera para afirmado al estar en contacto directo con las cargas vehiculares ya cuenta con las propiedades necesarias mínimas solicitadas por las normativas vigentes para carreteras.

Recomendaciones respecto al conclusión específica 3

Se recomienda hacer ensayos de CBR con porcentajes inferiores al 2% de aditivo oleoso residual reutilizado, con la finalidad de ubicar un porcentaje adecuado de aditivo para ser aplicado para incrementar la estabilidad de suelos en materiales de afirmado.

Recomendaciones respecto al conclusión general

Se recomienda realizar investigaciones adicionales utilizando dosificaciones inferiores al 2%, ya que se ha evidenciado que concentraciones superiores afectan negativamente las propiedades del suelo afirmado, reduciendo su capacidad para soportar tránsito vehicular. Es necesario ampliar el estudio considerando diversos factores que influyen en la durabilidad estructural del afirmado.

Asimismo, se sugiere desarrollar estudios complementarios empleando distintos tipos de aceites residuales, evaluando sus efectos a largo plazo sobre la estabilidad del suelo, bajo condiciones ambientales variables. Para mitigar los posibles efectos adversos de altas concentraciones de aceite residual, se plantea la posibilidad de combinar este tratamiento con estabilizantes adicionales, como cal o cemento, con el objetivo de mejorar la densidad y reforzar la resistencia mecánica del material.

VIII. Referencias

- Alarcón, J., Jiménez, M., & Benítez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(1), 5–20. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000100005>
- Antonio, M., Soto, G., & Soto, F. V. (2017). “Planificación y gestión de infraestructuras” gestión de carreteras no pavimentadas. https://oa.upm.es/52693/1/TFM_MARCO_ANTONIO_GUTIERREZ_SOTO.pdf
- Boiero, Á. (2021). *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos*.
- Cabrejos, J., & Murga, J. (2021). *Estabilización de afirmados con residuos de lubricantes vehicular en el camino rural del Centro Poblado de Cambio Puente – Chimbote. Universidad Nacional del Santa*.
- Cabrera, L., & Dios, D. (2020). *Mejoramiento de la superficie de rodadura afirmada con la aplicación de cloruro de calcio en la avenida Pradera, urbanización La Pradera - Pimentel - Chiclayo - Lambayeque*. Universidad San Martín de Porres.
- CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes (2016).
- Chacón, J., Hamdouni, R. El, & Lamas, F. (2004). *Mecánica de suelos y rocas: Prácticas y ensayos*. <https://www.researchgate.net/publication/258857638>
- Codevilla, M. (2008). *Arcillas expansivas del gran Buenos Aires*. https://www.researchgate.net/publication/340252600_ARCILLAS_EXPANSIVAS_DEL_GRAN_BUENOS_AIRES
- CON-AID Argentina S.A. (2021). *Estabilización Iónica de Suelos*.
- Del Castillo, R., & Orobio, A. (2020). Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite de motor usado en un suelo fino de subrasante. *Informes de La Construcción*, 72(558), 336. <https://doi.org/10.3989/ic.69016>
- ETSI, & UPM. (2015). *Determinación del límite líquido de un suelo por el método del*

aparato de Casagrande.

FAO. (2022). *Consistencia del Suelo.*

Gálvez, A. (2023). Stabilization of clayey soils using asphalt emulsion and steel filings for subgrades. *DYNA*, 90(226), 66–72. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n226.105839>

Green Solutions. (2020, June 15). *Marco legal de la gestión del aceite vegetal usado como residuo en Bolivia: riesgos y sanciones - Greenside Solutions.* <https://www.greensidesolutions.com/marco-legal-de-la-gestion-del-aceite-vegetal-usado-como-residuo-en-bolivia-riesgos-y-sanciones/>

Haro, O., & Sono, D. (2022). *Adición de aceite residual de motor en la estabilización de la subrasante de la trocha carrozable del A. H. Pampadura - A. H. Chachapoyas, Chimbote – 2022.* Universidad Cesar Vallejo.

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, D. M. del P., Méndez, C., Mendoza, P., & Torres, S. (2014). *Metodología de la investigación.*

Huang, P., Yoshida, Y., Nakano, Y., Yamochi, H., Hayashi, M., & Kitagawa, H. (2022a). Strong Proton-Electron Coupling in π -Planar Metal Complex with Redox-Active Ligands. *Angewandte Chemie*, 134(26). <https://doi.org/10.1002/ange.202204521>

Huaquisto, S. (2016). Efecto del aceite residual de vehículos motorizados en los factores físicos mecánicos del suelo arcilloso. *Revista Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Investigation*, 17(2), 207. <https://doi.org/10.18271/ria.2015.114>

Humicorp. (2016). *Carretera sin pavimentar.*

Hurtado, A., & Ortega, A. (2021). *Estabilización del afirmado con aceite sulfonado y cemento para el diseño vial en Soccos, Ocobamba, - Chincheros, Apurímac - 2021.* Universidad Cesar Vallejo.

Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE). (2019). *Estadísticas de longitud de caminos al año 2019.* https://es.wikipedia.org/wiki/Carreteras_de_Bolivia

- Jalanoca, F. (2021). *Mejoramiento de la subrasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021*.
- López, D. (2022, July 12). *Las carreteras de Colombia, entre las más lentas del mundo por la corrupción y las construcciones de mala calidad | EL PAÍS América Colombia*. Bogota. <https://elpais.com/america-colombia/2022-07-12/las-carreteras-de-colombia-entre-las-mas-lentas-del-mundo-por-la-corrupcion-y-las-construcciones-de-mala-calidad.html>.
- Manual de Ensayo de Materiales (2016).
- MEF. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*.
- Miranda, J. H. (2022). *Evaluación de las Propiedades del Afirmado y su Influencia en la Transitabilidad del Camino Vecinal PU-999, Lampa-2021* [Universidad Cesar Vallejo]. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-la-molina/lengua-i/miranda-pjh-sd/71407772>
- Moncayo, J. (2018). *Estudio del efecto del aceite de motor usado, en la resistencia a corte y CBR de los suelos finos (MH) en la ciudad de Cali*. Universidad del Valle.
- Montilla, T., Mogollón, C., Gómez, J., & Arbolaez, I. (2019). Aceite residual automotriz como aditivo en mezclas de hormigón: Si es factible su uso. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0658>
- MTC. (2013). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Lima.
- MTC. (2015). *Especificaciones técnicas generales para construcción*.
- Muñoz, É., Montoya, D., & Muñoz, A. (2017). *Informe aceites usados en colombia y su solución mayo 2017 (1) by Fundación Con Vida - Issuu*. https://issuu.com/fundacionconvida/docs/informe_aceites_usados_en_colombia_

- Nuñez, J., & Patín, Á. (2018). *Reciclado de aceite quemado de vehículo en la estabilización de suelos arenosos*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Pacheco, Y. (2023). *Aceite sulfonado con cemento para estabilización de suelos cohesivos en subrasante*. Universidad Peruana de los Andes.
- Pereira, F., & Silva, C. (2022). Combustion of Emulsions in Internal Combustion Engines and Reduction of Pollutant Emissions in Isolated Electricity Systems. *Energies*, 15(21), 8053. <https://doi.org/10.3390/en15218053>
- Promart Homecenter. (2020). *Cemento Sol Portland Tipo I*.
- Salian, A., K, A., & Mandal, S. (2023). Phase stabilized solution combustion processed (Ce_{0.2}La_{0.2}Pr_{0.2}Sm_{0.2}Y_{0.2})O_{1.6-δ}: An exploration of the dielectric properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 960, 170786. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.170786>
- Seismous. (2019). *¿Qué es la resiliencia?*
- Shuan, L., & Basurto, D. (2019). *Límite líquido, límite plástico e índice plástico*.
- Sotil, A. (2014). *Propuesta de sistema de gestión de pavimentos para municipalidades y gobiernos locales*. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/5051900.pdf>
- Suye, D. (2022). *Estabilización de suelos de subrasante usando aceite de motor usado para la construcción de carreteras*. Universidad Jimma (Etiopía).
- Tuscano, M. (2017). *Estabilización de subrasante mediante el uso de aceite reciclado en carretera, circuito cruz de paz palian - el tambo – Huancayo 2017*. Universidad Alas Peruanas.
- Vásquez, A. A., Guanuchi, L. M., Cahuana Rogelio, Vera, R., & Holgado, J. (2023). Métodos de investigación científica. *In Métodos de investigación científica*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>

Villanueva, D. (2021). *La adición del aceite residual automotriz mejora la estabilización de subrasante de la carretera afirmada Dv. Chirinos – Chirinos, Cajamarca, 2021.*
Universidad Ricardo Palma.

Yepes, V. (2019). Capacidad de soporte. Evaluación Técnica de Una Carretera.

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