

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERIA CIVIL



Tesis

Influencia de aceite usado de motor y fibra de cabuya en la estabilización de la superficie de rodadura en AV. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí - Lima, 2025

Asesor:

Ph.D. Vázquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Huamán Barazorda, Jorge Uriel

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2026



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 033

En la ciudad de Abancay, a los seis (06) días del mes de julio del 2026, siendo las 09:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0538-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. MALDONADO MENDIVIL, Ángel
Dictaminante :	Mag. LEGUÍA VALVERDE, Willy Silvestre
Replicante :	Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: *Influencia de aceite usado de motor y fibra de cabuya en la estabilización de la superficie de rodadura en AV. Juan Velasco Alvarado, Huarochiri - Lima, 2025*

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: HUAMÁN BARAZORDA, Jorge Uriel

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) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐:

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller	Nota	Detalle (**)
Br. HUAMÁN BARAZORDA, Jorge Uriel	11	APROBADO

Siendo las 10:19 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. MALDONADO MENDIVIL, Ángel

(.....)

Dictaminante: Mag. LEGUÍA VALVERDE, Willy Silvestre

(.....)

Replicante: Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo

(.....)

Nota: Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

21% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 21%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 0%  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	:	Jorge Uriel, Huamán Barazorda
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de DNI	:	408155654
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0005-3767-111X
Datos del asesor		
Apellidos y nombres	:	Ph.D. Vásquez Ramírez Abbon Alex
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de DNI	:	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 año en que se realizó la investigación	:	2025
Fuente de financiamiento	:	Propio
Porcentaje de similitud	:	21%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A Dios, por brindarme capacidad, sabiduría, guiarme en mis objetivos y metas.

A mis seres queridos, especialmente a mi madre Leonarda Barazorda Arias, mi padre Jorge Huamán Bornaz, mi hija Romina Nicole, Huamán Mamani y hermana(o) por su comprensión y por su amor incondicional.

Jorge Uriel

Agradecimiento

Expresar mis agradecimientos a mi madre Leonarda Barazorda Arias, padre Jorge Huamán Bornaz, hija Romina Nicole Huamán Mamani, por estar siempre presentes, por sus palabras de motivación y su comprensión.

Agradecimiento en particular a mi asesor Abbon Alex Vásquez Ramírez, por la confianza, por la orientación para finalizar mi trabajo.

Agradecer a la comunidad de estudios a Universidad Tecnológica de los Andes, escuela Ingeniería civil, doctores, magister, ingenieros, por la catedra de enseñanza, compañeras(os), amigas(os), quienes complementaron con conocimientos científicos, habilidades y liderazgo.

Jorge Uriel

Resumen

La presente investigación demostró la influencia de la adición de aceite usado de motor (AUM) y fibra de cabuya (FC) en la estabilización de la superficie de rodadura de la Av. Juan Velasco Alvarado, ubicada en el distrito de San Antonio, provincia de Huarochirí, Lima, durante el año 2025. La investigación fue de tipo aplicada, de nivel explicativo, con enfoque cuantitativo, método hipotético-deductivo y diseño experimental. La muestra fue no probabilística por criterio técnico, conformada por tres calicatas seleccionadas según la norma CE.010. Se realizaron ensayos de caracterización del suelo, análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor Modificado y Relación de Soporte de California (CBR) en un suelo clasificado como arcilla limosa con arena (CL-ML). Se evaluó una dosificación fija de 4 % de aceite usado de motor y porcentajes variables de 2 %, 4 % y 6 % de fibra de cabuya, respecto al peso seco del suelo. Evidenciando una disminución del índice de plasticidad (IP), un incremento en máxima densidad seca (MDS) y una mejora en el CBR, alcanzándose un CBR de 12,10 % con la dosificación de 4 % de AUM y 4 % de FC, frente al 5,7 % del suelo natural. El análisis estadístico confirmó influencia significativa en CBR, mientras IP y MDS no presentaron suficiente diferencia. La incorporación de AUM y FC mejora las propiedades geotécnicas del suelo y su capacidad de soporte como subrasante; sin embargo, las dosificaciones evaluadas no fueron suficientes para estabilizar la superficie de rodadura, constituyendo una base para futuras investigaciones.

Palabra clave; aceite usado de motor, fibra de cabuya, superficie de rodadura.

Abstract

This research demonstrated the influence of adding used motor oil (UMO) and cabuya fiber (CF) on stabilizing the road surface of Juan Velasco Alvarado Avenue, located in the district of San Antonio, province of Huarochirí, Lima, during the year 2025. The research was applied, explanatory, with a quantitative approach, hypothetical-deductive method, and experimental design. The sample was non-probabilistic, selected based on technical criteria, and consisted of three test pits chosen according to standard CE.010. Soil characterization tests, particle size analysis, Atterberg limits, Modified Proctor, and California Bearing Ratio (CBR) were performed on a soil classified as silty clay with sand (CL-ML). A fixed dosage of 4% used motor oil and variable percentages of 2%, 4%, and 6% cabuya fiber were evaluated, relative to the dry weight of the soil. The study showed a decrease in the plasticity index (PI), an increase in maximum dry density (MDD), and an improvement in the CBR, reaching a CBR of 12.10% with the dosage of 4% AUM and 4% FC, compared to 5.7% for the natural soil. Statistical analysis confirmed a significant influence on CBR, while PI and MDD did not show a sufficient difference. The incorporation of AUM and FC improves the geotechnical properties of the soil and its bearing capacity as a subgrade; however, the dosages evaluated were not sufficient to stabilize the pavement surface, thus providing a basis for future research.

Keywords: used motor oil, sisal fiber, tread surface.

Índice General

Acta de sustentación	¡Error! Marcador no definido.
Reporte de similitud	¡Error! Marcador no definido.
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice General.....	ix
Índice de Tablas.....	xii
Índice de Figuras	xiv
Índice de Anexos	xv
I. Introducción	16
II. Planteamiento del problema	18
2.1. Descripción y Formulación del Problema.....	18
2.2. Objetivos.....	21
2.2.1. Objetivo General.....	21
2.2.2. Objetivos Específicos	21
2.3. Justificación e Importancia	21
2.4. Hipótesis	22

2.5.	Variables	23
III.	Marco Teórico.....	28
3.1.	Antecedentes de la Investigación.....	28
3.2.	Bases Teóricas	39
3.2.1.	Aceite Usado de Motor (AUM).....	39
3.2.2.	viscosidad	41
3.2.3.	Dosificación aceite usado de motor.....	42
3.2.4.	Fibra de Cabuya.....	42
3.2.4.1.	Dosificación de fibra de cabuya.....	45
3.2.5.	Estabilización de superficie de rodadura	45
3.2.5.1.	Índice de plasticidad (IP).....	51
3.2.5.2.	Compactación del suelo en laboratorio	54
3.2.5.3.	Relación de soporte de californie (CBR)	59
3.3.	Definición de términos básicos.....	61
IV.	Metodología.....	68
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	68
4.2.	Ámbito temporal espacial	69
4.3.	Población y muestra.....	69
4.3.1.	Población	69
4.3.2.	Muestra	70

4.4.	Instrumentos.....	70
4.5.	Procedimientos.....	71
4.6.	Análisis de datos	72
4.7.	Consideraciones Éticas	72
V.	Resultados y Discusiones.....	73
5.1.	Resultados	73
5.2.	Discusiones	84
5.2.1.	Con respecto al Índice de plasticidad (IP).....	84
5.2.2.	En relación a Proctor modificado MTC E-115.....	85
5.2.3.	Con respecto a índice CBR.....	86
5.3.	Prueba de hipótesis	88
VI.	Conclusiones.....	95
VII.	Recomendaciones.....	97
VIII.	Referencias	98
IX.	Anexos.....	105

Índice de Tablas

Tabla 1	Matriz de operacionalización de las variables	24
Tabla 2	Nivel de advertencia de contaminantes	39
Tabla 3	Elementos químicos que contiene el aceite usado de motor producto del desgaste de los metales del motor.	40
Tabla 4	Composición química de fibra de cabuya	43
Tabla 5	Dosificación de AUM y FC	45
Tabla 6	Puntos a investigar, en base al tipo de vía y el área	46
Tabla 7	Relación de símbolos por AAHSTO y por SUCS	49
Tabla 8	Caracterización, de suelos según dimensión de partículas	50
Tabla 9	<i>Caracterización de suelo en base a IP</i>	52
Tabla 10	Resultado de análisis granulométrico de C-01, C-02 y C-03	73
Tabla 11	Resumen de los resultados obtenidos de las calicatas	75
Tabla 12	Tramos críticos en base a CBR	76
Tabla 13	Proporciones empleadas en material arcilla limosa con arena	77
Tabla 14	Resultados de IP, suelo base más la adición de FC y AUM.....	77
Tabla 15	Datos de ensayo de compactación, con adición de AUM y FC	79
Tabla 16	Valores de CBR con adición de FC y AUM	82
Tabla 17	<i>Valores previos para el análisis del LL</i>	88
Tabla 18	Valores previos para el análisis de LP	89
Tabla 19	Valores previos para evaluación de IP	89
Tabla 20	Valores previos, evaluación de MDS.	90

Tabla 21	Valores previos, evaluación de OCH.	91
Tabla 22	Valores previos, evaluación del CBR.....	92
Tabla 23	Datos de los objetivos específicos para cumplir el objetivo general	93

Índice de Figuras

Figura 1	Mapa del Perú con sus departamentos y la capital Lima con sus provincias.....	26
Figura 2	Av. Juan Velasco Alvarado, distrito San Antonio, provincia Huarochirí-Lima	27
Figura 3	Signos convencionales, para perfil de calicata clasificación por AASHTO.....	47
Figura 4	Signos convencionales, para perfil de calicatas clasificado por SUCS	48
Figura 5	Moldes y masas de Proctor estándar y modificado.....	54
Figura 6	Curvas de Compactación, de Proctor estándar y Proctor modificado.....	55
Figura 7	Resultado de curva granulométrico, de C-01 suelo base	74
Figura 8	Resultado de curva granulométrico, de C-02 suelo base	74
Figura 9	Resultado de curva granulométrico, de C-03 suelo base	74
Figura 10	Representacion grafica del LL, LP y IP con la adicion de FC y AUM	78
Figura 11	Representación gráfica de la densidad seca y humedad optima con adición.....	80
Figura 12	Representación gráfica del índice de CBR, con adición de FC y AUM.....	82

Índice de Anexos

Anexo A. Matriz de consistencia.....	106
Anexo B. Operacionalización de variables	108
Anexo C. Evidencias.....	109
Anexo D. Resultados de Laboratorio suelo base.....	111
Anexo E. Resultados de laboratorio suelo base más 4% AUM y 2%, 4% y 6%	125

I. Introducción

El progreso económico y social de un país, se basa en gran parte de la infraestructura de sus carreteras, en zonas rurales y urbana, donde predomina los caminos no pavimentados. En Perú-Lima la mayor parte de vías locales, vecinales muestra capas de superficie de rodadura deteriorado debido al aumento vehicular, la falta de ligamentos permanentes, pérdida de humedad, la acción de las condiciones climatológicas. Lo que provoca ahuellamiento, acolchonamientos, hundimientos, baches, polvo en tiempo de verano, baja capacidad de soporte. impactando inmediatamente en la transitabilidad vehicular, seguridad de los transportistas y peatones, generando costos económicos en mantenimiento vehicular. Originando alternativas sostenibles de compactación de suelos que sean económicas, eficientes y ecológicos.

En esta tesis se ha planteado la aplicación aceite usado de motor en 4% en porcentaje fija, más fibra de cabuya en diferentes porcentajes de 2%, 4%, 6% al suelo arcilla limosa con arena. En Av. Juan Velasco Alvarado, distrito San Antonio, provincia Huarochirí constituye una vía colectora de tránsito local que une a los pobladores y empresas de revisiones técnicas vehiculares a la Av. Tupac Amaru. Se realizo ensayos con incorporación de adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya para determinar cómo influye la plasticidad del suelo, máxima densidad seca (MDS) y optimo contenido de humedad (OCH) y por último el índice de CBR.

La estructura de esta tesis está en nueve capítulos; I. introducción, brinda una perspectiva general de la estructura del estudio; II. Planteamiento del problema, contiene descripción y explicación, objetivo principal y secundarios, hipótesis y variables; III. Marco teórico, contiene los antecedentes, los fundamentos teóricos, definición términos básicos; IV. Metodología, que contiene tipo de indagación, nivel de indagación y diseño de investigación, rango temporal y

espacial, población y muestra, procedimiento, consideraciones éticas y análisis de información; V. Resultado y discusiones, que contiene los resultados, las discusiones con los antecedentes, contrastación de hipótesis; VI. Conclusión, que está en base a los objetivos general y específico; VII. Recomendación, que basado en objetivos y hallazgos; VIII. Referencias, que contiene las bibliográficas de libros, revistas, tesis. Etc. IX. Anexos, contiene los formatos de los ensayos de laboratorio y fotografías de las actividades realizadas en laboratorio.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y Formulación del Problema

Según un informe publicado por la Universidad Costa Rica (2023), menciona en el ámbito internacional que aproximadamente el 60% de la red vial cantonal se encuentra en estado regular a muy malo, abarcando desde las áreas limítrofes hasta la gran área metropolitana, tanto los residentes como los turistas de áreas urbanas deben enfrentar cada año los mismos obstáculos al circular por los caminos deteriorados que conforman la red vial cantonal. Esta red incluye el 83 % del total de la extensión de la infraestructura vial del país, de la cual un 71 % corresponde a rutas de tierra o lastre. Se trata de la red más extensa del territorio nacional, con una longitud aproximada de 38 032,16 km repartidos en los 84 cantones y bajo la administración de los municipios locales. Estas condiciones adversas impactan en la accesibilidad y movilidad de las poblaciones rurales, como en su economía local, afectando en la actividad de la agricultura y turismo, de acuerdo a la entidad encargada enfrenta limitaciones técnicas, económicas y políticas.

De acuerdo al informe la Asociación para el fomento de la infraestructura Nacional [AFIN] (2023), indica en el ámbito nacional, entre diciembre de 2018 y julio de 2024, la red de vías vecinales pavimentadas aumentó en 1 944 km, de los cuales el 52 % se ejecutó con soluciones básicas y el 48 % con asfalto. Sin embargo, para cubrir la brecha existente de 115 694 km de vías vecinales sin pavimentar, se requerirían aproximadamente 4 821 años si se mantiene la velocidad actual de la obra pública. Incluso en Lima Metropolitana, que presenta un mejor estado en comparación con otras regiones del país, únicamente el 39% de la red vial metropolitana y de las interconexiones regionales está pavimentado.

Según menciona Quiroz (2020), la problemática presente en avenidas, calles, girones en zonas urbanas, se origina porque las partículas pequeñas al mezclarse con suelos gruesos que están expuestos a la atmosfera, pierden humedad. Esto ocurre debido a que en este tipo de vías el único ligante temporal es el agua, cuya acción desaparece al evaporarse. Como consecuencia, el suelo reduce sus propiedades mecánicas y físicas al perder la humedad, lo que provoca un desintegrado superficial, generando polvo en suspensión y posteriormente fallas como baches, ondulaciones y ahuellamientos, afectando directamente la transitabilidad.

La región de Lima, provincia de Huarochirí, distrito San Antonio se encuentra la Av. Juan Velasco Alvarado, cuya zona está en proceso de urbanización y posee un gran porcentaje de empresas de revisiones técnicas vehiculares (RTV), la vía está conectada a la principal Av. Tupac Amaru. Esta vía es colectoras ya que reúne calles de este distrito y la conecta a sus vías principales de Huarochirí, está clasificada como vía urbana y es administrada mediante ordenanza de la municipalidad de Huarochirí - gobierno local. En esta vía circulan vehículos pesados y livianos, como de cuatro ejes, tres ejes, dos ejes y motos lineales que acuden a la revisión técnica vehicular y de los propietarios de la zona, para trasladarse dentro o para salir con destino a otras localidades de Lima.

Las causas del deterioro se deben que las partículas de la superficie de rodadura se encuentran separados, dispersos como la grava, arena y fino en cualquier estación del año, baja capacidad de soporte al tránsito vehicular, falta de estabilización y falta de mantenimiento periódico. Las consecuencias, pérdida de grava o desaparición del material superficial, ahuellamiento en el eje longitudinal de la vía que alteran la pendiente transversal la cual proviene de las fuerzas ejercidas por los vehículos, ondulaciones reordenación de superficie en ondas paralelas

orientadas perpendicularmente al sentido del tránsito, pérdida de pendiente transversal por desgaste de superficie, formación de baches localizadas de forma circular e incrementa en épocas de lluvia, surcos de erosión de forma longitudinal y transversal producida por deficiencia en drenaje superficial, cabezas duras partículas gruesas que se alojan en la superficie del afirmado por desprendimiento del material fino. polvo excesivo generando nubes que reduce la visibilidad del conductor y peatón, genera problemas de tránsito, dificultad de circulación vehicular y peatonal, mayor tiempo de viaje, deterioros frecuentes a vehículos y accidentes de tránsito, mayor probabilidad de accidente de tránsito, contaminación del aire por polvo, afectación al sistema respiratorio, daños a la piel e irritación, acceso limitado a servicios básicos, afecta a personas con discapacidad y adulto mayor y aislamiento del resto de los barrios. Se pretende aglutinar, unir las partículas de esa manera estabilizar la superficie de rodadura con la incorporación de aceite usado de motor (AUM) y fibra de cabuya (FC) como refuerzo natural y mejorando el soporte estructural de la vía, aprovechamiento el residuos industrial y fibra natural proveniente de las hijas fibrosas de cabuya.

Formulación del Problema de Investigación

Problema General

- ¿Cómo influye la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, en la estabilización de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí - Lima, 2025?

Problema Específico

- ¿De qué manera influye la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya en la plasticidad del suelo, de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí - Lima, 2025?

- ¿De qué manera influye la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya en la compactación, de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí - Lima, 2025?
- ¿De qué manera influye la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya en el CBR, de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí - Lima, 2025?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Demostrar la influencia de adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, en la estabilización de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí - Lima, 2025.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Interpretar la plasticidad con la adición del aceite usado de motor y fibra de cabuya, en la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado Huarochirí – Lima, 2025.
- Interpretar la compactación con la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, en la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado Huarochirí – Lima, 2025.
- Interpretar el CBR con la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, en la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado Huarochirí – Lima, 2025.

2.3. Justificación e Importancia

Justificación

Teórica, permite analizar la influencia del aceite usado de motor y la fibra de cabuya en las propiedades mecánicas del suelo.

Práctica, evalúa una alternativa de estabilización para mejorar las propiedades del suelo de una vía no pavimentada y proporciona información útil para optimizar futuras dosificaciones.

Metodológica, emplea ensayos geotécnicos normalizados que pueden servir como referencia para investigaciones similares.

Ambiental, promueve el aprovechamiento del aceite usado de motor y la fibra de cabuya como materiales alternativos.

Social, genera información técnica que puede contribuir al mejoramiento de las vías no pavimentadas y beneficiar la movilidad de la población.

Importancia

Científica, Genera evidencia sobre la influencia del aceite usado de motor y la fibra de cabuya en las propiedades mecánicas del suelo.

Técnico, Identifica que las dosificaciones estudiadas mejoran los parámetros geotécnicos el IP, la MDS y el CBR, aunque no son suficientes para estabilizar una superficie de rodadura no pavimentada.

Metodológico, Proporciona una base experimental que puede servir para futuras investigaciones con nuevas dosificaciones o combinaciones de estabilizantes.

Ambiental, Fomenta el aprovechamiento de aceite usado de motor y el uso de fibra de cabuya como materiales alternativos.

2.4. Hipótesis

Según Hernandez et al. (2010) define “Explicaciones tentativas del fenómeno investigado que se formulan como proposiciones” (P.92).

Hipótesis General

- La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en la estabilización de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado Huarochirí - Lima, 2025.

Hipótesis Especifico

- La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en la plasticidad de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima, 2025.
- La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en la compactación de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima, 2025.
- La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en el CBR de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima, 2025.

2.5. Variables

Como indica, Hernandez et al. (2010) define “es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse” (P.93).

Variable Independiente:

Aceite usado de motor y fibra de cabuya

Variable Dependiente:

estabilización de superficie de rodadura

Tabla 1*Matriz de operacionalización de las variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable Independiente	Tal como indica Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2026), “ aceite usado de motor ” “es todo aquel aceite lubricante (de motor, de transmisión o hidráulico, con base mineral o sintética) de desecho, generado a partir del momento en que deja de cumplir la función inicial para la cual fue creado”.	Se incorporo aceite usado de motor en proporción fijo de 4% más fibra de cabuya en proporciones 2%, 4% y 6%, en función al peso seco de la muestra. Se utilizo instrumentos como balanza calibrada para medir la cantidad de AUM y FC.	Viscosidad	Índice de viscosidad Viscosidad cinemática m ² /s	Fichas de laboratorio. Manual de Ensayo de Materiales (MTC 2016).
Aceite usado de motor y Fibra de cabuya	Según Barrantes (2018), define “ fibra de cabuya ” “Es una planta cultivada que desprende sus raíces en las alturas del territorio peruano y se caracteriza por tener hojas carnosas y muy fibrosas, provistas de espinas en los bordes”.		Dosificación Aceite usado de motor	4%	
			Dosificación Fibra de cabuya	2 % 4 % 6 %	
Variable Dependiente	Según MTC (2015), la “ Estabilización de suelos finos ”, perfecciona las características físicas y mecánicas disminuyendo su cambio de volumen y caída de resistencias bajo cargas en presencia del líquido, con la aplicación de material químico con el objetivo de mejorar las capas de rodadura con mayor eficiencia (pág. 10).	Se determinó el índice de plasticidad, con el ensayo de límites de Atterberg, se determinó la MDS y OCH con los ensayos de Proctor modificado, seguidamente se determinó el índice del CBR, con material compactado a diversos niveles de energía.	Índice Plasticidad	Limite Liquido % Limite plástico % Máxima densidad seca kg/m ³	MTC E 110 MTC E 111 MTC E 115
Estabilización de Superficie de rodadura	Según Montejo (2001), la “ Superficie de rodadura ”, es la capa superior del pavimento formado por material granular o mezcla tratadas y están en contacto directo con el tránsito, cuya función es proporcionar una superficie estable y resistente.		Compactación	Optimo contenido de humedad % Capacidad de soporte kpa Resistencia al corte kpa	MTC E 132

Nota. La tabla muestra las variables, definición, conceptual y operacionalización, dimensión, indicadores y escala.

Viabilidad de la Investigación

La presente tesis es factible, porque se dispone de recursos económicos propios, técnicos, temporales, operativos, capacidad del investigador necesarios para su ejecución.

Económica, el proyecto no requiere de una inversión elevada ya que los insumos principales provienen de materiales reciclados (aceite usado de motor a gasolina), y recursos naturales que se encuentra en zonas andinas de bajo precio (fibra natural de cabuya). Los costos asociados al transporte, obtención de la muestra, ensayos de laboratorios serán asumidos dentro del presupuesto asignado a la investigación.

Técnico, se cuenta con herramientas, equipos, instrumentos y materiales de laboratorio de suelos para la elaboración de ensayos correspondientes, así como la disponibilidad de materiales aceite usado de motor y fibra de cabuya los cuales primero se extrajo la cabuya, seguidamente el desfibrado, secado y corte.

Temporal, el cronograma establecido contempla el tiempo suficiente para la exploración del suelo, elaboración de los ensayos de laboratorio, análisis de resultados, contrastación de hipótesis, conclusión y por último etapa de difusión.

Operativa, se cuenta con el conocimiento teórico, técnico, asesoría técnica, acceso al repositorio, libros de mecánica de suelos, manuales y normas del MTC, acceso a las instalaciones del laboratorio para realizar ensayos correspondientes, como, límite de consistencia, compactación, y soporte de california CBR.

La investigación respeta normas éticas, no afecta a personas, animales, medio ambiente y ecosistema.

Ubicación del área de estudio

La región Lima está ubicada en la costa central del país a orillas del océano pacífico y tiene nueve provincias con una extensión 32,126 km². Huarochirí una de las provincias de Lima, se ubica en zona sierra del centro del Perú, parte de vertiente occidental de cordillera de los andes, limita por el norte con Canta, por el sur Yauyos, por el este Junín y oeste Lima metropolitano. Con una extensión de 5657,93 km².

Figura 1

Mapa del Perú con sus departamentos y la capital Lima con sus provincias



Nota. La imagen muestra la ubicación de la provincia de Huarochirí y sus límites. Obtenido de Instituto geográfico del Perú.

Figura 2

Av. Juan Velasco Alvarado, distrito San Antonio, provincia Huarochirí-Lima



Nota. La imagen muestra la distribución de las calicatas en la Avenida. Obtenido de Google Maps.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes de la Investigación

A nivel internacional

Según Orellana & Tenesaca (2023), menciona en su tesis “Uso de materiales Pétreos modificados para mejorar la estructura de vías urbanas en lastre del cantón de Cuenca”. Tiene como objetivo, evaluar la viabilidad del aceite quemado de motor producido por el parque automotor, para mejorar la estructura de las vías urbanas. Con una metodología de enfoque cuantitativo corresponde a diseño experimental más pruebas de campo, en diferentes proporciones la más adecuada ha sido 3% y 4% de aceite quemado de motor, donde se manipula la variable independiente (aceite quemado), se tuvo como resultado del uso de aceite residual mejoro significativamente el CBR de 14.21% a la penetración de 0.1” a 14.69% a la penetración de 0.2”, 14.64 % este resultado se obtuvo con 4% de aceite quemado, el material mostro mejor comportamiento estructural, menor presencia de baches, en campo muestra mejores conservaciones de niveles y mejores condiciones de humedad y resistencia. Llegan a una conclusión que el aceite usado de motor si funciona como estabilizante de suelos mejorando significativamente el CBR del suelo, el comportamiento de la vía, en porcentaje óptimo de 3% y 4%, siendo una alternativa económica y reutilizable.

Tal como indica Patin (2020), en su tesis “Reciclado de aceite quemado de vehiculos en la estabilizacion de suelos arenaso”. Tiene como objetivo determinar el efecto del aceite quemado en la mejora de las propiedades mecanicas de un suelo arenoso, identificando el porcentaje optimo para incrementar su capacidad portante (CBR). con la metodologia un enfoque cuantitativo y diseño experiemntal se analizo un suelo arena-limosa seguidamente se

elaboro mezclas con diferentes porcentajes de aceite quemado y ensayos de laboratorio de granulometría, proctor y CBR, seguidamente se hizo las comparaciones del suelo base y suelo estabilizado. Con el resultado el suelo natural presento un CBR de 13.35%, con la incorporación de aceite quemado incremento hasta 20.18% se obtuvo mayor densidad y mejor compactación con el porcentaje óptimo fue 10% y 11%. Llega a la conclusión el aceite quemado mejora significativamente la resistencia y capacidad portante del suelo, siendo una alternativa económica y viable para la estabilización de suelos arenosos en obras viales.

Según Castillo & Orobio (2021), menciona en su revista titulado “Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite usado de motor en un suelo fino de subrasante”. Tuvo como objetivo, analizar preliminarmente el efecto de aceite de motor usado (AMU) en las características geotécnicas de un suelo fino de subrasante. Con una metodología, experimental incorporando aceite usado en diferentes adiciones 4%, 8%, 12%, y 16% en los ensayos de límites de Atterberg, ensayos de Proctor modificado, resistencia a compresión inconfiada y permeabilidad. Resultados, según la caracterización de suelos por SUCS, es un limo de alta plasticidad (MH), que contiene 21,16% de arcilla, 61,08% de limo y 17,76% de arena, los límites de consistencia se mantienen constante en la proporción de 4% y 8% mayores a esto disminuye desfavorablemente reduciendo la interacción con el suelo, en la compactación la humedad óptima reduce a mayores proporciones y la densidad seca se incrementa en mayores proporciones, la resistencia a compresión es igual hasta el 8% a mayores proporciones disminuye desfavorablemente. Con la conclusión, que la plasticidad del suelo tiende a disminuir a mayores proporciones de (AMU), cuando las partículas del suelo son cubiertas con películas viscosas siendo no miscibles con el agua, la densidad seca incrementa ligeramente, la humedad

óptima disminuye lo que mejora su compactación, la resistencia a compresión inconfiada se mantiene igual hasta un 8% a mayor proporción disminuye considerablemente.

Conforme a Iqbal et al. (2020) menciona en su revista “Avances en ciencia e ingeniería de materiales”, “Efecto del aceite de motor usado y del betún como aditivo sobre la permeabilidad y las propiedades mecánicas de suelos de baja plasticidad”. Tubo como objetivo, evaluar el efecto de aceite usado de motor (AUM) y el betún como aditivos sobre la permeabilidad y las propiedades mecánicas de un suelo de baja plasticidad, con el propósito de determinar su viabilidad como agentes estabilizadores en aplicaciones de terraplenes, pavimentos y zonas con problemas de filtración de agua. Tiene como metodología un enfoque experimental la cual se hizo más dosificaciones en 0%, 4%, 8%, 12%, 16% y 20% mediante los ensayos de límites de consistencia, proctor modificado, CBR, permeabilidad. Como resultados el aceite usado de motor mostró un comportamiento favorable en dosificaciones de 4%, incrementando la densidad seca máxima, el índice de CBR, reduce el índice de plasticidad, mejora la permeabilidad y en mayores dosificaciones es desfavorable. También se evidencia el betún mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo aporta buena cantidad de hidrocarburos que el aceite. Llega a la conclusión que el betún es un estabilizante más eficiente que el aceite usado de motor para suelos de baja plasticidad mientras que el (AUM), debe limitarse a bajos porcentajes para evitar la degradación de las propiedades geotécnicas.

Según Deribu (2022), menciona en su tesis titulado “Estabilización de suelos de subrasante utilizando aceite de motor usado para la construcción de carreteras”. Con el Objetivo principal analizar la idoneidad del aceite usado de motor en estabilización de suelo expansivo a nivel de subrasante. Con una metodología experimental realizaron dosificaciones de 2%, 4%, 6% y 8% con aceite usado de motor al suelo arcilloso expansivo de baja plasticidad. Como

resultado, suelo patrón fue clasificado arcilla de baja plasticidad (CL), con un CBR de 2.65% inadecuado para soportar carga del vehículo y el peso de la estructura del pavimento, con la proporción 4% se logró alcanzar el valor máximo de CBR de 4.26% y el índice de plasticidad disminuye progresivamente a la vez mejorando la trabajabilidad, a mayores proporciones de aceite de motor usado se obtiene densidad seca menor y humedad optima mayor, demostrando valores CBR bajo. Llegando a la conclusión la dosificación idónea para estabilizar suelo arcilloso expansivo de plasticidad baja es 4% de aceite usado de motor mejorando las propiedades del suelo, incrementando el CBR y reduciendo su plasticidad y pasado por encima de 6% disminuye la resistencia y la cohesión entre partículas.

Conforme Ahlam et al. (2023), menciona en su artículo titulado “Evaluación del impacto de las fibras vegetales en los parámetros de hinchamiento de dos variedades de suelo expansivo”. Con su objetivo principal evaluar la influencia de fibra vegetal en la reducción de hinchamiento de suelo expansivo, haciendo la comparación de 02 tipos de suelo y buscando como la incorporación de fibra afecta en los parámetros de expansión y retracción. Con una metodología experimental, se pudo apreciar la caracterización de suelo que realizaron seguidamente la mezcla de suelo con las fibras vegetales alfa, yute y sisal en diferentes proporciones (1%, 3%, 9% y 18%). Con los resultados, al incorporar las fibras a mayor proporción disminuye significativamente los parámetros de hinchamiento, demuestra que, al mezclar las tres fibras alfa, yute y sisal es más eficiente con los valores de hinchamiento arcilla de 3.01mm a 0.80mm, marga 3.40mm a 1.43mm, presión de hinchamiento arcilla a 70kpa a 44kpa, marga 120kpa a 62kpa y índice de hinchamiento libre arcilla 90% a 42.38%, marga 39% a 72.52%. Con la conclusión las fibras vegetales son las más idóneas, sostenibles y eficaces para

evitar el problema de hinchamiento en suelos expansivos e indica los costos son económicos ya que se encuentra en zonas andinas con cero de contaminación.

Como señala Aguirre & Full (2021), en su tesis titulado “Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos finos mediante la adición de residuos provenientes de fibras vegetales”. Con su objetivo, identificar la adición óptima de incorporación de fibra vegetal, que debe añadirse a suelos finos con la finalidad de perfeccionar sus características mecánicas. Una metodología experimental por que se van manipulando las variables en proporciones controlados. como resultado la adición de fibras vegetales, en proporciones que varía entre 1.5% y 2% mejorando significativamente las características mecánicas y físicas de suelos finos, arena, limo y arcilla. Llegando a la conclusión obtuvo un 31.6% limite plástico 29.8%, un índice de plasticidad 1.7%. Concluye que el material es apropiado para ser usado conforme al objetivo de este proyecto, se ejecutó un diseño de mezcla 0.5%, 1%, 1.5% y 2%, demostrando que el 1.5% y 2%, resulta ser porcentajes óptimos para mejorar las características mecánicas de suelos finos.

A nivel nacional

Según Huaman & Camacho (2022), menciona en su tesis “Uso del aceite residual de motor diésel para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante de un pavimento”. El suelo encontrado 93.25% de fino, 5.95% de arena y 0.85 grava según su clasificación, tiene como objetivo evaluar el efecto del aceite residual de motor diésel en las propiedades mecánicas del suelo de sub rasante de un pavimento. Con la metodología de enfoque cuantitativo un diseño experimental con las proporciones de 2%, 4%, 6% y 8% de aceite residual de motores diésel, la cual la variable independiente fue manipulado. Llegando a los resultados del suelo natural con un CBR muy bajo 0.99% sub rasante inadecuado con la incorporación de aceite residual de

motor diésel en proporciones de 6% y 8% incremento CBR a 8.68% y 8.00% a mayor proporción disminuye la trabajabilidad y como conclusión la incorporación de aceite residual de motor diésel mejora las propiedades mecánicas del suelo y el porcentaje optimo es 8% mantiene la trabajabilidad.

Tal como señala Verde & Samanamud (2024), en su tesis de investigación titulada “Estabilización de Subrasante usando aceite vehicular reciclado y polvo de piedra en camino Huamilancha, Sayán 2024”. Con el objetivo analizar el efecto que produce el empleo polvo de piedra y aceite usado, en el proceso de estabilización de sub rasante en caminos rurales, Su metodología Cuasiexperimental se incorporaron aceite reciclado vehicular más polvo de piedra en dosificaciones controlados 0%AVR + 0%PP, 6%AVR + 10%PP, 8%AVR + 10%PP, 6%AVR + 15%PP, 8%AVR + 15%PP. Como resultado el suelo hallado, es A-6 (arcilla de baja plasticidad), con la adición de 6% AVR+15%PP, se obtuvo IP = 8% mostrando una reducción con el suelo patrón 16%, una MDS=2.047g/cm³, OCH=4.90%, y CBR=25,50% bueno. Conclusión con la adición de 6%AVR + 15%PP, muestra una reducción de IP de 16% a 8% demostrando que brinda seguridad al momento de construir la subrasante mejorando la plasticidad del suelo, en cuanto al MDS ocasiona un incremento de manera reducida de 1.977g/cm³ a 2.039g/cm³, OCH ocasiona una disminución a medida que se incrementa las proporciones 10.30% a 5.70% y el CBR en suelo natural indica 12.30% una subrasante buena con la incorporación logró 23.50% a una subrasante muy buena, demostrando un incremento en índice CBR.

Según Corcuera & Huamán (2024), menciona es su tesis titulada “Influencia de la incorporación de aceite reciclado de motor en la relación de soporte de california (CBR) y el costo de una superficie de rodadura de afirmado, Lima 2024”. Objetivo evaluar el uso de acetite

reciclado de motor (ARM) influye en índice (CBR) y en los costos de construcción del afirmado para carreteras sin pavimentar. Su metodología cuantitativa, diseño experimental y alcance explicativo puro se emplearon 400kg de material granular de cantera para incorporar aceite reciclado de motor en proporciones de 1.25%, 2.50%, 3.75% y 5.00%, los ensayos fueron la caracterización de suelos, compactación, y soporte de california CBR, siguiendo las normas ASTM. Los resultados mostraron la incorporación de 3.05% aceite reciclado mejoro significativamente el CBR del material alcanzando un valor optimo 81.40% lo que representa un incremento notable, en cuanto a lo económico evidencio una reducción en los costos respecto a otros estabilizadores tradicionales. Conclusión la incorporación controlada de ARM, mejora las propiedades mecánicas del afirmado, incrementando su índice de CBR, reduciendo costos de construcción a la vez contribuye con la protección del medio ambiente y utilización de residuo industrial.

Como manifiesta Campos (2024), en su tesis de investigación “Influencia del aceite residual automotor en la estabilización del material de la carretera de sacra familia a nivel de afirmado – Pasco 2024”. Tuvo como objetivo, analizar la influencia de aceite residual de motor en la compactación del suelo extraído de la cantera en términos de afirmado. Metodología, tipo aplicada, diseño experimental y una perspectiva cuantitativa el material usado fue un material afirmado de la cantera sacra familia a las que incorporaron aceite reciclado automotor en diferentes proporciones (1%, 2%, 3% y 4%), se realizó ensayos, clasificación de suelo, compactación y soporte de california CBR, basado en manual de ensayos de laboratorio de MTC. Resultados el afirmado patrón presento un CBR de 68.30% con la incorporación del aceite reciclado automotor aumento significativamente un máximo de 82.50% con una dosificación de 3% y por encima de 4% disminuye en CBR debido a alta lubricación. Conclusión el empleo de

aceite reciclado de automotor mejora significativamente las características mecánicas del material afirmado aumentando su índice de CBR cuando se incorpora en proporciones controladas y la dosificación idónea es 3% que donde se obtuvo mejor equilibrio entre resistencia y densidad, indica el material constituye una opción económica, sostenible, ecológica para estabilización de superficies de rodadura, a la vez contribuye con la reutilización de residuos contaminantes.

Según Ramos (2021), menciona en su tesis titulada “Mejoramiento de suelo arcilloso nivel sub rasante aplicando fibra de cabuya en Av. Cusco distrito mi Perú – Callao 2020. Tuvo como objetivo, examinar como la adición de fibra de agave influye en las características de suelo arcilloso en subrasante, en Av. Cusco en el distrito mi Perú - Callao. Su metodología un diseño cuasi experimental, la variable independiente es manipulado y las dosificaciones que usaron 0%, 10%, 15% y 20% de fibra de agave, los ensayos correspondientes, bajo las normas de ASTM, AASHTO, MTC Y NTP. Resultado demostraron que adicionar 5%, 10% y 15% fibra de agave, el índice CBR de 19.5% suelo Patrón aumento hasta 38.5% también incrementando la densidad seca máxima 2.121g/cm^3 reduciendo un IP, de 7% a 5%. Se concluye, fibra de cabuya aumenta significativamente las propiedades mecánicas de suelo arcilloso, incrementando capacidad de soporte CBR y resistencia de compresión reduciendo la plasticidad, con optimo porcentaje de 20% logrando mejor densidad y estabilidad, considerando una opción eficiente, económica, ecológica.

Tal como señala Arce (2023), en su tesis titulado “Influencia de las fibras de agave en las propiedades físicas y mecánicas del suelo para la subrasante de la trocha carrozable Chiquintirca–Cajadela, Ayacucho 2022”. Tuvo como objetivo examinar hasta qué punto la incorporación de fibra de agave afecta en características mecánicas y físicas, de suelo en

subrasante de camino carrozable. Su metodología científica, con enfoque cuantitativo, tipo aplicada y diseño experimental, con las dosificaciones incorporadas es de 2%, 4% y 6% de fibra de cabuya. Resultado, demostraron la incorporación fibra de cabuya en proporciones 2% y 4% mejoraron significativamente el índice de CBR, de 4.92% a 11.90% a la vez fibra de cabuya mostro una influencia significativa en densidad seca del suelo, a mayor dosificación de fibra disminuye la MDS Y OCH. Se concluye la fibra de cabuya impacta significativamente en densidad seca del suelo y mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas de suelo, mejorando el índice de CBR, a la vez considerando una alternativa eficaz, económica y ecológico.

A nivel local

Según Meneses (2024), menciona en su tesis titulado “Incorporación de fibra de cabuya para estabilizar la sub rasante de la trocha carrozable – distrito de Anco Huallo – Apurímac 2024”. Objetivo, evaluar el efecto de la incorporación de fibra de agave en la característica de la sub rasante, en caminos del distrito de Anco_Huallo, Uripa - chincheros. Su metodología, tipo aplicada, diseño experimental, nivel aplicado y enfoque cuantitativo, se agregó fibra de cabuya en porcentajes de 3%, 6% y 9%, los ensayos de caracterización, límites de consistencia, compactación, y CBR, basándose las normas ASTM y NTP. Resultados, mostraron que la fibra de cabuya reduce la plasticidad, mejorando MDS y aumentando el índice CBR hasta un 22.2%, mejorando la subrasante de regular a muy buena. Concluye, la fibra de pita mejora la característica mecánica del suelo, disminuyendo su plasticidad y aumenta su durabilidad, también se observó que MDS, se incrementó a medida que se aumenta la fibra de pita, el CBR

mejoro significativamente al incrementar la fibra de pita teniendo una subrasante muy buena, considerando una alternativa eficaz, económica y ecológica.

Según Ayquipa Roman (2023), menciona en su tesis “Influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay – Apurímac 2023”. Tuvo como objetivo analizar el efecto del aditivo oleoso residual (aceite residual del motor), en la mejora de las propiedades del afirmado de una carretera con la finalidad de mejorar su capacidad portante. Con la metodología, tipo de investigación aplicada, nivel explicativo y un diseño experimental la muestra a analizar fue muestra de cantera y ensayo de granulometría, límite de Atterberg, Proctor y CBR, con las dosificaciones de 2%, 4% y 6% de aditivo oleoso residual. Con resultados ligeramente aumento la plasticidad de 5.93% a 6.10%, y máxima densidad seca incremento de 2.183gr/cm³ a 2.196gr/cm³ respecto al CBR de 46.5% a 55.5%. Llegando a la conclusión el aditivo oleoso residual mejora significativamente el comportamiento mecánico del suelo incrementando la capacidad portante (CBR), siendo una alternativa técnica y viable, ambientalmente favorable ya que reutiliza residuos.

Como lo establece Lopez & Torbisco (2021) en su tesis “Aprovechamiento de fibra de cabuya para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la mezcla tradicional de adobe en una unidad de albañilería en el distrito de Abancay departamento de Apurímac”. Objetivo, determinar cómo impacta fibra de agave en relación a la resistencia mecánica del adobe, evaluando la influencia, a la flexión y resistencia a la compresión. Metodología científica, diseño experimental y tipo aplicado dosificaron la fibra con la adición de 1.5%, 1.75%, 2% y 2.5%, realizaron ensayos físicos y mecánicos conforme a norma peruana E.080 incluyendo ensayos de flexión y compresión. Resultado, fibra de agave incremento significativamente la resistencia de adobe a la compresión y flexión siendo más efectivo en proporciones de 1.75% y

2% mostrando mayor ductilidad. Concluye, fibra de agave mejora la resistencia de compresión y flexión de adobe, representando una opción sostenible y económica para la zona rural.

Conforme a Ponce & Segundo (2022), menciona en su tesis titulado “Aplicación del aditivo Sika dust seal en la estabilización de suelos para vías no pavimentadas en el tramo Antarumi – San mateo, Tintay Aymaraes – Apurímac”. Tuvo como objetivo, analizar la efectividad del aditivo Sika dust seal, en estabilización para vías no pavimentadas, considerando como afecta las características del suelo. Metodología científica, diseño experimental se aplicaron dosificaciones de 1%, 2%, y 3% respecto a la muestra base realizo ensayos correspondientes, basado en la norma NTP. Resultado incremento significativo en el índice de CBR con una dosificación de 2% de suelo natural 6.2% hasta 18.7% pasando de “mala” a “regular”, a la vez reduciendo su plasticidad y aumentando su densidad seca máxima. Concluye, que 2% de Sika Duts seal ofrece mejor rendimiento en las propiedades mecánicas del suelo, ofreciendo una mejor técnica y económica para estabilizar caminos rurales.

Los antecedentes son los trabajos, estudios o investigaciones previos y están relacionados con el tema que abordo, a la vez permite conocer su objetivo, metodología, resultados y conclusión.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Aceite Usado de Motor (AUM)

Según Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2026), “es todo aquel aceite lubricante (de motor, de transmisión o hidráulico, con base mineral o sintética) de desecho, generado a partir del momento en que deja de cumplir la función inicial para la cual fue creado”.

Petro-Canadalubricants (2025), menciona los niveles de advertencia de contaminantes de manera sigt:

Tabla 2

Nivel de advertencia de contaminantes

Prueba	Límite de Advertencia
Viscosidad, cst a 40 °C	25% de cambio en comparación con a viscosidad del aceite nuevo
Viscosidad, cst a 100 °C	15% de cambio en comparación con la viscosidad del aceite nuevo
Refrigerante	Cualquier identificación positiva
Agua	Superior a 0,1 %
Dilución con combustible	Superior a 5 %
Numero acido	Mas de 5 unidades (aceite para motor)
Numero de base	No menos de entre 3 y 4 unidades
Hollín	Superior a 5 %
Oxidación	Superior a 300 A/cm (por encima del punto de referencia)

Nota. la tabla muestra los niveles de porcentaje de contaminación de aceite. Obtenido de Petro-Canadá Lubricants.

Petro-Canadalubricants (2025), menciona los niveles de advertencia de desgastes automotrices de manera sigt:

Tabla 3

Elementos químicos que contiene el aceite usado de motor producto del desgaste de los metales del motor.

Elemento	Límite de advertencia	Comentarios
Hierro (fe)	Superior a 100ppm	Indica que las válvulas, los cilindros, cojinetes, cigüeñal desgastado.
Cromo (Cr)	Superior a 10ppm	Los anillos de los pistones y cojinetes están desgastados.
Cobre (Cu)	Superior a 20 ppm	Cojinetes rodamientos desgastados
Estaño (Sn)	Superior a 10 ppm	Indica lixiviación del enfriador de aceite
Aluminio (Al)	Superior a 20 ppm (>80ppm)	Indica los pistones o bloque de motor esta desgastado.
Plomo (Pb)	Superior a 25 ppm	Los cojinetes están desgastados cuando se usa gasolina con plomo
Boro (B)	Superior a 20 ppm	Indican que hay fuga de fluido del radiador

Nota. La tabla se muestra los elementos químicos que contienen los aceites usados de motor. Obtenido de Petro-Canadá Lubricants.

Uso de los aceites usados del motor producto de la combustión de motores y transmisión

- Como combustible para usos industriales calderas y hornos
- Por un proceso de refinación se convierte en biodiesel
- Betún asfáltico para la impermeabilización en carreteras
- Abonos, barniz, detergentes y jabón
- Regeneración mediante la refinación para lubricantes y grasas
- Productos tintas, fertilizantes y pinturas

3.2.2. viscosidad

Según Petro-Canadalubricants (2025), define La viscosidad es una propiedad que indica la resistencia de un aceite a fluir. Esta puede incrementarse debido a procesos como la oxidación, la acumulación de impurezas o la evaporación de sus fracciones más ligeras. Por otro lado, puede disminuir como consecuencia del esfuerzo mecánico (corte) o por la dilución con combustible.

a) La viscosidad se expresa comúnmente en centistokes (CST):

- medida a temperaturas de referencia de 40 °C
- medida a temperatura de referencia de 100 °C.

b) Comportamiento de viscosidad a altas temperaturas:

- A mayor temperatura menor viscosidad
- A menor temperatura mayor viscosidad

3.2.3. Dosificación aceite usado de motor

Según Neville & Brooks (2010), define “la dosificación es el proceso mediante el cual se determinan las cantidades de cada material que conforma una mezcla, con el propósito de cumplir requisitos de resistencia y durabilidad”.

La dosificación más adecuada, habiéndome basado en los antecedentes internacionales, nacionales y locales se usó una dosificación de aceite usado de motor un valor estándar de 4% para las tres por proporciones.

3.2.4. Fibra de Cabuya

Según Barrantes (2018), define “Es una planta cultivada que desprende sus raíces en las alturas del territorio peruano y se caracteriza por tener hojas carnosas y muy fibrosas, provistas de espinas en los bordes”.

- Denominación científica; “*Furcraea andina*” perteneciente a la familia Agaváceas.
- Nombre más común en la zona andina; cabuya, maguey, pita, chuta, chahuar, cabuya negra y cardón.

Tal como Chiclla (2022), describe es una planta típica de las yungas y vetientes accidentales andinas, esta fibra vegetal es de múltiples usos de su fibra se hace hilos, de sus hojas papel, de sus espinas agujas, sus hojas jabonosas sirve de detergente, el uso fermentado da una bebida agradable.

Descripción botánica, de hojas verdes y delgadas, provistas de espinas en sus bordes, sólido y pesado, sus hojas son carnosas y muy fibrosas, tiene flores amarillas, se reproduce por renuevos que brotan al contorno de su raíz.

Piso ecológico, la cabuya es una planta endémica del Perú, se desarrolla en la región de costa, yunga y quechua desde los 1450 hasta los 3000 msnm y se encuentra distribuida desde América del centro hasta América del sur.

Clasificación, las fibras se clasifican de la manera siguiente:

- **Fibras naturales**, se obtiene de medio ambiente que se encuentran espontáneamente y pueden ser vegetales, animales y minerales.
- **Fibras sintéticas**, se obtienen mediante procesos químicos y físicos como el caso de Nailon, el rayón, el polietileno o polipropileno.

Tal como menciona Rodríguez (2020), la estructura química de fibra de Cabuya de la manera siguiente:

Tabla 4

Composición química de fibra de cabuya

Composición química fibra de cabuya	
Cenizas	1.58%
Fibras	1.58
Pentosas	17.65%
Lignina	15.47%

Nota. La tabla muestra la composición química de fibra de cabuya. Se obtuvo de un artículo de diseño de planta de fibra de cabuya.

Uso de la cabuya en Perú

Según Rodríguez (2020), menciona el uso de la cabuya en lo siguiente:

- En la medicina natural, jabón para ropa y cabello, preparación de insecticidas, forraje para vacunos, medicamentos antirreumáticos, para controlar heridas infectadas.
- Cerco de terrenos, en todo el perímetro y sogas para la construcción de puentes en lugares donde no se cuenta con presupuesto.
- Como fibra textil, fue como una de las primeras fibras utilizadas para hacer tejidos, como redes, hondas, huaracas, calzados, se hace hilos, de sus hojas papel, y de sus espinas agujas, sogas.
- Como alimento para ganado, se usa como forraje antes de que madure en tiempos de sequía para vacuno, caprino y porcino.
- Como alimento para el hombre, en el departamento de Huánuco conocen como edulcorante, lo utilizan para preparar desayuno, mazamorras, postres y refrescos. A la vez obtienen derivados como la chancaca y miel.
- Como bebidas, en Angaraes (provincia), lo consumen como refrescos en quechua es Pacpa Upi. En México, Guatemala y Colombia el agua miel es una materia prima de suma importancia para la producción de bebida fermentada como tequila y mescal y es de suma importancia para su economía.
- Como combustible, una vez florecido la cabuya muere y se seca y los pobladores de Huánuco lo utilizan como leña ya que genera gran cantidad de calor al igual que el eucalipto.

El uso de la fibra de cabuya en este trabajo se pone por ser un material que posee varias propiedades y un mínimo impacto al medio ambiente.

- a) Presenta características mecánicas aptas requeridas para reforzar al material del suelo.

- b) Es un recurso de la zona, estas fibras se pueden producirse y están disponibles en la localidad y son biodegradables.
- c) Fácilmente generables, porque se cultiva además está presente de manera silvestre en cercos y laderas.
- d) Existen estudios referenciales.

3.2.4.1. Dosificación de fibra de cabuya

La incorporación de la fibra de cabuya en este trabajo fue de la manera siguiente:

Tabla 5

Dosificación de fibra de cabuya y aceite usado de motor

Dosificación de Fibra de Cabuya y Aceite Usado de Motor			
Aditivos	Suelo Patrón	Suelo Patrón	Suelo Patrón
Aceite Usado de Motor (AUM)	4%	4%	4%
Fibra de Cabuya (FC)	2%	4%	6%

Nota. En la tabla se muestra las dosificaciones de dos aditivos para este trabajo. Elaboración propia.

Los porcentajes incorporados del aceite usado de motor y fibra de cabuya han sido respecto al peso seco del material suelo patrón.

3.2.5. Estabilización de superficie de rodadura

Estabilización de suelos finos

Según MTC (2015), la estabilización de suelos finos perfecciona las características físicas y mecánicas disminuyendo su cambio de volumen y caída de resistencias bajo cargas en presencia del líquido, con la aplicación de material químico con el objetivo de mejorar las capas de rodadura no pavimentadas con mayor eficiencia (pág. 10).

Superficie de rodadura

Según Montejo (2001), es la capa superior del pavimento formado por material granular o mezcla tratadas y están en contacto directo con el tránsito, cuya función es proporcionar una superficie estable y resistente.

Exploración de suelo

Según el MTC (2016), El programa de exploración e indagación en campo consistirá en realizar calitas o posos de exploración, la distancia entre ellos dependerá de las propiedades de los materiales subyacentes a lo largo del trazo de la vía por lo general están distanciados a 250m y 2.000m (pág. 27).

Tabla 6

Puntos a investigar, en base al tipo de vía y el área

Tipo de vía	Puntos de Investigación	Área (m²)
Expresa	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

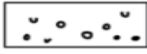
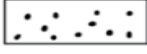
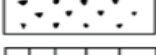
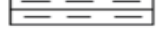
Nota. La tabla muestra, puntos de investigación en base al tipo de vía. Obtenido norma CE.010.

Descripción del suelo

“Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014, pág. 32).

Figura 3

Signos convencionales, para perfil de calicata clasificación por AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Nota. La imagen muestra su simbología según su clasificación. Obtenido del manual de carreteras.

Vías arteriales

Son vías que posibilitan conexiones entre ciudades con fluidez media, accesibilidad limitada y una integración relativa al uso de las zonas vecinas. Son rutas que deben conectarse al sistema de vías expresas y posibilitar una adecuada distribución del tráfico a las vías colectoras.

Vías colectoras

Son las que permiten el tránsito por las vías arteriales, ofreciendo servicios tanto al tránsito vehicular como al acceso a las propiedades cercanas.

Figura 4

Signos convencionales, para perfil de calicatas clasificado por SUCS

	Grava bien graduada, mezcla de grava con poco o nada de materia 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-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo organico 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 organico 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 organico y arcilla limosa organica, 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 inorganico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elastico

	Arcilla inorganica de elevada plasticidad, arcilla gravosa
	Arcilla organica de mediana o elevada plasticidad, limo organico
	Turba, suelo considerablemente organico

Nota. La imagen muestra la descripción de signos. Obtenido de manual de carreteras.

Clasificación de suelos

Tal como indica MTC (2016), “Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico” (pág.35).

Tabla 7

Relación de símbolos por AAHSTO y por SUCS

Simbología por AASHTO ASTM D-145	Simbología por SUCS y ASTM D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Nota. La tabla muestra la relación de simbologías por AASHTO y SUCS, Obtenido de suelo geología y geotecnia.

Granulometría del suelo

Tal como se encontró en la normativa ASTM D-422 MTC E-107

Equipos:

- 01 balanza calibrada para pesar los materiales pasantes.
- 01 estufa que resista a temperaturas de 110 ± 5 °C.

Herramientas

- Tamices redondos de 3" N°. 200

- Bandejas para colocar el material
- Brocha para limpiar bandeja y tamices

Procedimiento:

- El material se tomó del ensayo directo calicatas
- Se realizó el cuarteo de la muestra en el laboratorio
- Lavar y secar en el horno de laboratorio 110 ± 5 °C
- Se utilizó el tamiz de la fracción fina N° 10 al N° 200

Tabla 8

Caracterización, de suelos según dimensión de partículas

Tipo de material		Dimensión de partículas
Grava		75mm – 4.75mm
		Arena gruesa; 4.75mm – 2.00mm
		Arena media; 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina; 0.425mm – 0.075mm
Material Fino	Limo	0.075mm – 0.005mm
	Arcilla	Menor 0.002mm

Nota. La tabla indica, la dimensión de partículas de grava, arena, limo y arcilla. Obtenido de manual de carreteras MTC.

C1; grava 4.7%, arena 19.3% y fino 76.0%

C2; grava 4.7%, arena 24.6% y fino 70.7%

C3; grava 1.3%, arena 20.6% y fino 78.1%

Contenido de humedad

Tal como se describe en normativa ASTM D-2216 y MTC E-118

Equipos:

- Horno eléctrico para secado de 110 °C
- Balanza eléctrica con sensibilidad de 0.1gr

Procedimientos:

- Pesar el recipiente limpio, seco y se anota su peso
- Se toma una muestra representativa del suelo
- Pesaje húmedo, la muestra y el recipiente
- Colocar la muestra al horno por lo menos por 24 horas
- Pesar nuevamente la muestra seca
- Cálculos contenidos de agua

$$\text{humedad}(w) = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso del suelo seacado al horno}} \times 100$$

3.2.5.1. Índice de plasticidad (IP)

Según MTC (2014), es un indicador de amplitud del rango de humedades, en que el suelo tiene consistencia plástica; IP más alta se relaciona con un suelo muy arcilloso (pág. 33).

Fórmula para hallar el IP

$$IP = LL - LP$$

- Si ocurre que el LP es mayor que el LL, se considera el IP como no plástico

Tabla 9*Caracterización de suelo en base a IP*

IP	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20	Media	Suelo arcilloso
IP > 7		
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Nota. Muestra la tabla los rangos de IP. Obtenido de manual de geología y geotecnia

3.2.5.1.1. Limite liquido (LL)

Como menciona la normativa ASTM D-4318 y MTC E-110

Equipo:

- Copa Casagrande
- Balanza con calibración de 0.01g
- Horno que soporte a temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ secado de muestra

Herramientas:

- Envase o vasija de porcelana 115mm
- Acanalador con las dimensiones correspondientes
- Espátula

Procedimiento:

- Se tomo el suelo, pasante tamiz N°40 aproximadamente 100gr a 200gr suelo seco
- En una bandeja se mezcla con agua hasta que sea trabajable

- Colocar el material trabajable en copa casa grande y realizar división con acanalador
- Aplicar los golpes a razón dos golpes por segundo a 25 golpes, hasta que se junte a una distancia de 13mm

Formula:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

A donde:

N = N° de golpes necesarios para cerrar la ranura, destinada a la humedad.

W^n = humedad del suelo

3.2.5.1.2. Limite plástico (LP)

Como indica la normativa ASTM D-4318 y MTC E-111

Cuando el suelo se quiebra al pasar de un estado semisólido al estado plástico

Equipo:

- Balanza eléctrica
- Horno eléctrico que soporta a temperaturas $110 \pm 5^\circ\text{C}$

Herramientas:

- Espátula
- Vidrio esmerilado
- Varilla compactadora de 1/8"

$$LP = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso del suelo secado al horno}} \times 10$$

Procedimiento:

- Material de 20gm pasante tamiz N°40 se mezcla con agua
- Con la muestra preparada en un vidrio frotar con la mano hasta que se haga grietas o rajadura en ese momento se encuentra en el límite plástico
- Consiste en realizar una geometría de forma cilindra de 3mm de diámetro

3.2.5.2.Compactación del suelo en laboratorio

Tal a la norma ASTM D-1557 y MTC E-115

El ensayo de compactación cuyo objetivo es cuantificar la densidad seca y óptima humedad del material.

Figura 5

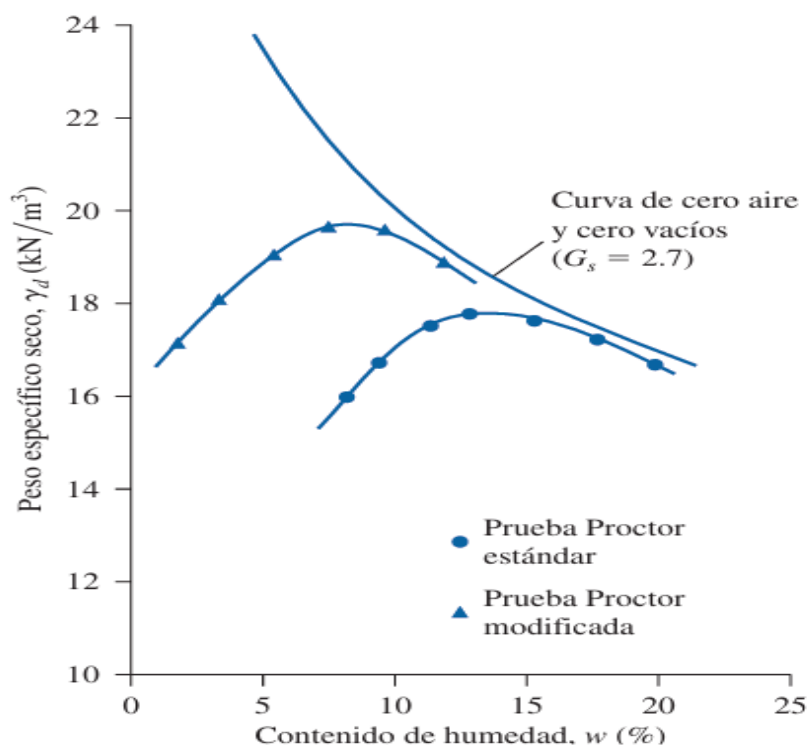
Moldes y masas de Proctor estándar y modificado



Nota. La imagen muestra moldes y masas proctor. GVA Ingeniería y Arquitectura S.A. de C.V.

Figura 6

Curvas de Compactación, de Proctor estándar y Proctor modificado



Nota. La figura muestra, curva de compactación de estándar y modificado para un limo arcilloso por método A. obtenido de Braja M. Das.

3.2.5.2.1. Densidad seca máxima (DSM), γ_d (KN/m³)

Según lo indicado por Braja M. Das (2015), peso unitario seco máximo, en teoría, es cuando no existe aire en los espacios vacíos, es cuando el grado de saturación es igual al 100%.

3.2.5.2.2. Óptimo contenido de humedad (OCH), W (%)

Según lo indicado por Braja M. Das (2015), con el contenido de humedad optima ideal, se logra el peso unitario seco máximo.

Según el MTC (2016), en su manual de laboratorio indica tres métodos (A, B y C), para realizar los ensayos de compactación y la selección es de acuerdo al tamaño de partículas del suelo y por número de malla que pasa pág.105.

Método A

- Molde 101.6mm 4”
- Material que pasa por el tamiz 4.75mm N°4
- Numero de capas 5
- Golpes por capa 25

Método B

- Molde 101.6mm 4”
- Material que se emplea el que pasa por el tamiz 9.5mm 3/8”
- Numero de capas 5
- Golpes por capa 25

Método C

- Molde 152.4mm 6”
- Material se emplea el que pasa por el tamiz 19.0mm 3/4”
- Numero de capas 5
- Golpes por capa 56

Equipos:

- Molde de 4 pulgadas, en promedio 101.6mm de diámetro interior y altura 116.4mm y un volumen de 944 cm³
- Pisón manual, el pistón debe caer sin restricciones a una longitud de 457.2mm
- Extractor de muestra o una gata para extraer la muestra compactada
- Balanza, con aproximación de 1gm
- Horno a temperaturas de 110±5°C

Herramienta:

- Regla metálica de dimensión 254mm
- Tamiz o malla, 9.5mm (3/8pulg)
- Bandeja para mesclar, espátula, botella de spray

Procedimiento:

- Se preparo 04 bandejas y se puso 04 muestras del mismo suelo de aproximadamente de 5.500kg.
- Agregar agua a razón de 2% de agua respecto a su peso y se homogeniza.
- Pesar el molde del ensayo Proctor sin collarín y se calcular su volumen.
- Coger una muestra y dividir en 05 porciones la muestra.
- Se coloca el collarín y se comienza a compactar.
- Se aplicaron 25 golpes por capa y al finalizar la compactación se retira el collarín.
- Enrasar con regla metálica de tal manera que quede nivelado.
- Pesar el molde y la muestra compactada.
- Tomar una sección del material para examinar el contenido de humedad. (llevar al horno).

Cálculos de densidad húmeda y densidad seca:

a) húmeda del espécimen compactado P_m

$$P_m = 100 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

A donde:

P_m = húmeda del espécimen compactado (Mg/ m³)

M_t = masa del espécimen húmedo y molde (kg)

M_{md} = masa del molde de compactación (kg)

V = volumen del molde de compactación m³

b) densidad seca del espécimen compactada P_d

$$P_d = \frac{P_m}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

A donde:

P_d = densidad seca del espécimen compactado (Mg/ m³)

W = contenido de agua (%)

$\gamma_d = 62.42 P_d$ en lbf/ft³

$\gamma_d = 9.807 P_d$ en KN/ m³

c) fórmula para calcular grado de compactación:

$$\text{Grado de compactacion} = \frac{\text{densidad seca del campo}}{\text{maxima densidad seca de ensayo de laboratorio}} \times 100$$

3.2.5.3. Relación de soporte de californie (CBR)

Tal como sustenta la normativa ASTM D 1883 y MTC E 132.

Equipos:

- Prensa hidráulica para el movimiento entre la base y el cabezal, se debe regular a una velocidad uniforme de 1.27mm por minuto.
- Molde cilíndrico de 152.4mm con diámetro de 6" y altura de 7".
- Separador metálico con forma de disco circular.
- Dispositivo manual empleado para apisonar el suelo.
- Dispositivo para medir la expansión con trípode.
- Una o dos pesas en forma de anillo fabricadas en metal con una masa de 4.54kg.
- Dispositivo de penetración de metal de 49.63mm
- 02 diales recorrido mínimo de 25mm
- Tanque o deposito para liquido
- Estufa termostáticamente a temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Balanza una con capacidad de 20kg
- Tamices de 4.76mm N°4

Procedimiento:

- Coger material de 5kg de 4.75m N°4
- Determinar la humedad natural obtenida mediante secado en horno.
- Una vez determinada la humedad natural, se agrega el agua necesaria para llegar a la humedad optima.

- Preparación de especímenes; se pesa molde con su base, se coloca el collar, el disco espaciador, sobre este un disco de papel filtro del mismo diámetro.
- El material se compacta en su interior, mediante un sistema dinámico aplicando 55, 26 y 12 golpes por capa.
- Se coge una porción de muestra de 100 y 500 gr, antes de la compactación y otra al final. Se mezcla y se determina la humedad del suelo.
- Finalizado la compactación, se retira el collar y se nivela el espécimen con la regla metálica.
- Desmontada el molde, se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, poniendo un filtro de papel entre el molde y la base, seguidamente se pesa.
- Se coloca placa perforada con vástago sobre la superficie invertida y encima de ella, los anillos necesarios para completar la sobrecarga.
- Se tomo la primera lectura del hinchamiento instalando el trípode con las patas sobre el molde, se registra su lectura el día y hora.
- Se sumerge el molde, con sus respectivas sobrecargas por 4 días.
- Al finalizar el tiempo de sumergir, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento.
- Sacar los moldes del tanque dejar por 15 min el molde al revés para quitar el líquido, a continuación, se retira la sobrecarga, la placa perforada, inmediatamente se pesa y se procede la prueba de penetración.
- Se aplica una sobrecarga para producir intensidad de carga, igual al peso del pavimento.
- La carga se aplica sobre el pistón, mediante la prensa, manteniendo una velocidad constante.

- Se desmonta el molde, se toma desde la parte superior cercana a la zona de penetración, una muestra para determinar su humedad.

La finalidad del ensayo de laboratorio de CBR, es para analizar la resistencia potencial de sub rasante, sub base y afirmado. El índice CBR también nos sirve para calcular el espesor de la capa de rodadura y afirmado.

3.2.5.3.1. Capacidad de soporte Kpa

Es la máxima presión que un suelo puede resistir sin fallar por corte.

3.2.5.3.2. Resistencia al corte Kpa

Es la máxima tensión tangencial que un suelo pueda soportar antes de fallar.

3.3. Definición de términos básicos

Superficie de Rodadura

Tal como señala MTC (2008), la superficie de rodadura requiere material granular, arena con fino y plasticidad adecuados para dar estabilidad y soportar cargas sin ellos es inestable. (pág. 145).

Estabilización

Según BrajaM (2015), define la estabilización también conocida como el mejoramiento de suelos, es un proceso de alteraciones de las características del suelo in situ a un costo bajo y con el control adecuado (pág.722).

Estabilización de suelos finos

Tal como señala MTC (2015), la estabilización química en suelos finos mejora las resistencia y estabilidad del suelo disminuyendo su volumen (pág. 10).

Capa de afirmado

Conforme a MTC (2008), El tipo de material empleado cambia según la región y las fuentes locales de agregado, que pueden ser canteras de cerro o de río. Además, varía si se usará como una capa superficial o inferior, ya que esto influye en el tamaño máximo de los agregados y la proporción de componentes finos o arcilla. Este último es un elemento indispensable en el camino afirmado (pág.145).

Aceite usado de motor

Según indica Rivero (2018), los lubricantes están compuestos con aditivos, mineral, sintética durante su uso se contaminan con partículas metálicas debido al desgaste producto del movimiento y fricción, residuos de plomo, presencia del azufre en el combustible, hidrocarburos poli nucleares, PCBs, PCTs.

Viscosidad

Tal como lo plantea Petro-Canadalubricants (2025), es la medida de las resistencias de un aceite a su desplazamiento, la oxidación, la evaporación de los componentes ligeros o la presencia de impurezas puede hacer que un aceite se vuelva más viscosa, siendo posibles que pierda la densidad.

Aditivo

Tal como lo plantea Petro-Canadalubricants (2025), es un producto que optimiza la lubricación, conocido como material base de aceite, se usa con la finalidad de prevenir

contaminantes que perjudiquen el conjunto móvil del motor, previene la presencia de barniz, lodo, lacas, corrosión en el metal.

Fibra de cabuya

Fibra de cabuya, es una fibra vegetal natural, obtenido de las hojas de cabuya compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina lo que otorga alta rigidez, buena resistencia a la tracción su uso en diferentes campos, en la artesanía, en la construcción, forraje para ganados vacunos.

Índice de plasticidad

Según MTC (2014), es un indicador de amplitud del rango de humedades, en que el suelo tiene consistencia plástica; IP más alta se relaciona con un suelo muy arcilloso (pág. 33).

Contenido de humedad

Según menciona MTC (2016), en su manual de ensayos de laboratorio, el contenido de humedad es la relación expresada en porcentaje del peso del agua en masa del suelo con respecto al peso de las partículas (pág.49).

Límite líquido

Tal como indica MTC (2016), es el contenido de humedad expresado en porcentaje, donde el suelo se encuentra en la frontera de estado plástico a estado líquido, también podemos decir cuando el surco de la pasta se cierra en 25 golpes quedando a una distancia $\frac{1}{2}$ " (pág. 68).

Compactación

Según Braja M. Das (2015), es el proceso por el cual se consolida el suelo al eliminar el aire con trabajo o energía mecánico. El nivel de compactación de un terreno se evalúa por su

peso unitario seco. Si se introduce suavizante, agentes, estabilizadores químicos sobre las partículas del mismo suelo, esta se desliza se acomoda una encima de la otra y se desplaza ligeramente (pág. 91).

Densidad Seca Máxima (DSM)

Según lo indicado por Braja M. Das (2015), peso unitario seco máximo, en teoría, es cuando no existe aire en los espacios vacíos, es cuando el grado de saturación es igual al 100%.

Optimo Contenido de Humedad (OCH)

Según lo indicado por Braja M. Das (2015), con el contenido de humedad optima ideal, se logra el peso unitario seco máximo.

Capacidad de Soporte de California (CBR)

Es un índice que expresa la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, comparado con material patrón mediante la penetración de un pistón bajo condiciones controladas.

Relación de soporte de california (CBR)

Según SOWERS & SOWERS (1972), es un índice semi empírico que relaciona las propiedades de deformación y resistencia de un suelo, se ha relacionado con el comportamiento de la capa de rodadura para estimar el espesor del pavimento (pág. 314).

Exploración de suelo

Tal como señala MTC (2014), indagación en campo consistirá en realizar calitas o posos de exploración, la distancia entre ellos dependerá de las propiedades de los materiales

subyacentes a lo largo del trazo de la vía por lo general están distanciados a 250m y 2.000m (pág. 27).

Suelos

“Es un material natural compuesto por un conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración y alteración de las rocas, que presenta vacíos interconectados los cuales pueden estar ocupados por agua, aire o ambos” (Terzaghi, 1943).

Análisis mecánico de los suelos

Según menciona Braja M. Das (2015), conjunto de procedimientos de laboratorio para determinar la granulometría de suelos, expresado en porcentajes generalmente existen 02 métodos de análisis mecánico, primero análisis por tamizado para partículas mayores de 0.075mm y segundo Análisis por hidrómetro partículas menores de 0.075mm.

Granulometría

Tal como indica MTC (2014), es la repartición de dimensión de partículas, a través del tamizado siguiendo las especificaciones técnicas, en base a norma de ensayos MTC E.107, a partir de cual se puede calcular con más o menos precisión las demás características de interés de los materiales (pág. 33).

Sistema de clasificación AASHTO

Conforme a Jerez (2020), este sistema usado para la construcción de carreteras la cual separa los suelos en dos grupos, material granular cuando el 35% o menos pasa el tamiz N° 200 materiales limos arcillosos cuando más 35% pasan el tamiz N° 200.

Sistema clasificación SUCS

Tal como menciona Braja M. Das (2015), los suelos grano grueso son grava y arenan, que tienen menos de 50%, que pasa a través del tamiz N° 200, emplean símbolos G; suelo grava y la S; suelo arena. Los suelos finos cuyo 50% o más pasa por el tamiz N° 200 emplean símbolos M; limo orgánico, C; arcilla inorgánica y O; orgánico (pág. 82).

Subrasante

Tal como señala MTC (2014), es la superficie terminada de una carretera después de realizar el movimiento del terreno en ella se coloca la estructura del pavimento y es la capa superior del terraplén y fondo de una excavación de terreno natural (pág.24).

Pavimento

Conforme a MTC (2014), define estructura de varias capas que se coloca por encima de la subrasante para distribuir y soportar los esfuerzos producidos por los vehículos y mejora la seguridad de la transitabilidad y confianza al usuario (pág. 25).

Afirmado

Como indica MTC (2008), el afirmado se compone de una mezcla de tres tipos de partículas del suelo; grava, arena, y material fino o arcilla. Si estas fracciones no se combinan en proporciones adecuadas, la calidad del afirmado disminuye. La grava proporciona la capacidad para soportar las cargas, mientras que las arenas rellenan los vacíos y aportan estabilidad a la capa. Es indispensable incluir un porcentaje de finos con cohesiones los materiales (pág.145).

Curva granulométrica

Representa la distribución granulométrica de las partículas, la amplitud de los granos, las características del tipo de suelo etc. Se grafica el porcentaje que pasa (%), acumulado que pasa respecto al tamaño de las partículas (mm).

Fibra de sisal

Según Aguirre & Full (2021), es una de las fibras más usadas en la ingeniería civil para optimizar las características mecánicas del suelo y su resistencia.

Fibra de yute

Tal como señala Ahlam et al. (2023), es una fibra natural larga de color dorado y se obtiene de 02 especies que es planta de yute blanco y planta de yute tocsa. La obtención de la fibra es mediante el enriado que implica la inmersión de yute en agua de corrientes lentas canal, arroyo, tanque, lago o embalse durante 14 días y 28 días.

Agregado

Según menciona MTC (2014), es una capa compacta de material granular natural o procesada y tiene una gradación específica que soporta las cargas y esfuerzos del tránsito, que posee material fino cohesivo, su uso en caminos no pavimentados (pág. 25).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Conforme menciona Espinoza (2014), el tipo de investigación aplicada, también se denomina diseño o innovación, tiene como objetivo implementar los resultados de la investigación experimental con el propósito de tecnologías que se puede aplicar para resolver los problemas sociales con enfoque en la productividad (pág. 91).

Esta investigación es de tipo aplicada por que busca resolver problemas reales en la estabilización de superficie de rodadura con la incorporación de aceite usado de motor y fibra de cabuya con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas del suelo, capacidad de soporte del suelo y brindar una solución técnica viable, económica y sostenible.

Nivel de investigación

Tal como indica Espinoza (2014), “La investigación explicativa tiene como propósito buscar las relaciones de causa y efecto entre las variables del objeto de estudio” (P.90).

Esta investigación es de nivel explicativo, tiene como propósito demostrar la influencia de aceite usado de motor y fibra de cabuya en la estabilización de la superficie de rodadura y explicar el efecto que produce estos aditivos sobre las propiedades mecánicas del suelo, el CBR, densidad seca máxima y optimo contenido de humedad, en este contexto se analiza la relación de variable independiente y variable dependiente.

Diseño de investigación

Según Espinoza (2014), el diseño de investigación experimental es una estructura esquematizada para manipular la variable independiente cuidadosamente, siendo una herramienta de dirección para el investigador siguiendo los pasos para encontrar posibles soluciones, estableciendo mecanismos que aseguren que no van impactar en la variable dependiente (pag.91).

Esta investigación es de diseño experimental por que se manipula la variable independiente, tal como la dosificación de aceite usado de motor y fibra de cabuya en proporciones controladas para analizar los cambios en las propiedades mecánicas del suelo, índice de plasticidad, índice de CBR, máxima densidad seca (DSM) y optimo contenido de humedad (OCH).

4.2. Ámbito temporal espacial

En el ámbito temporal, el estudio comprende, Av. Juan Velasco Alvarado, distrito San Antonio, Provincia Huarochirí, región Lima, periodo 2025.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Según Silvestre & Huamán (2019), la población considerada el conjunto de elementos y conocida como unidad de análisis objetos, personas, organizaciones, denominada universo y se representa con la N, población hace referencia a todas las unidades sociales y naturales que pertenecen a un ámbito espacial, en el que se lleva a cabo la investigación (pág. 309).

La población en esta investigación es las vías no pavimentadas de Av. Juan Velazco Alvarado de las progresivas de 0+000km a 1000km del distrito de San Antonio, provincia de Huarochirí-región de Lima.

4.3.2. Muestra

Como afirman Hernandez et al. (2010), la muestra es el subconjunto de la población, objeto que debe ser definido o delimitado y sobre el cual se recopilaran datos, de antemano de manera exacta, debe ser representativo de esa población.

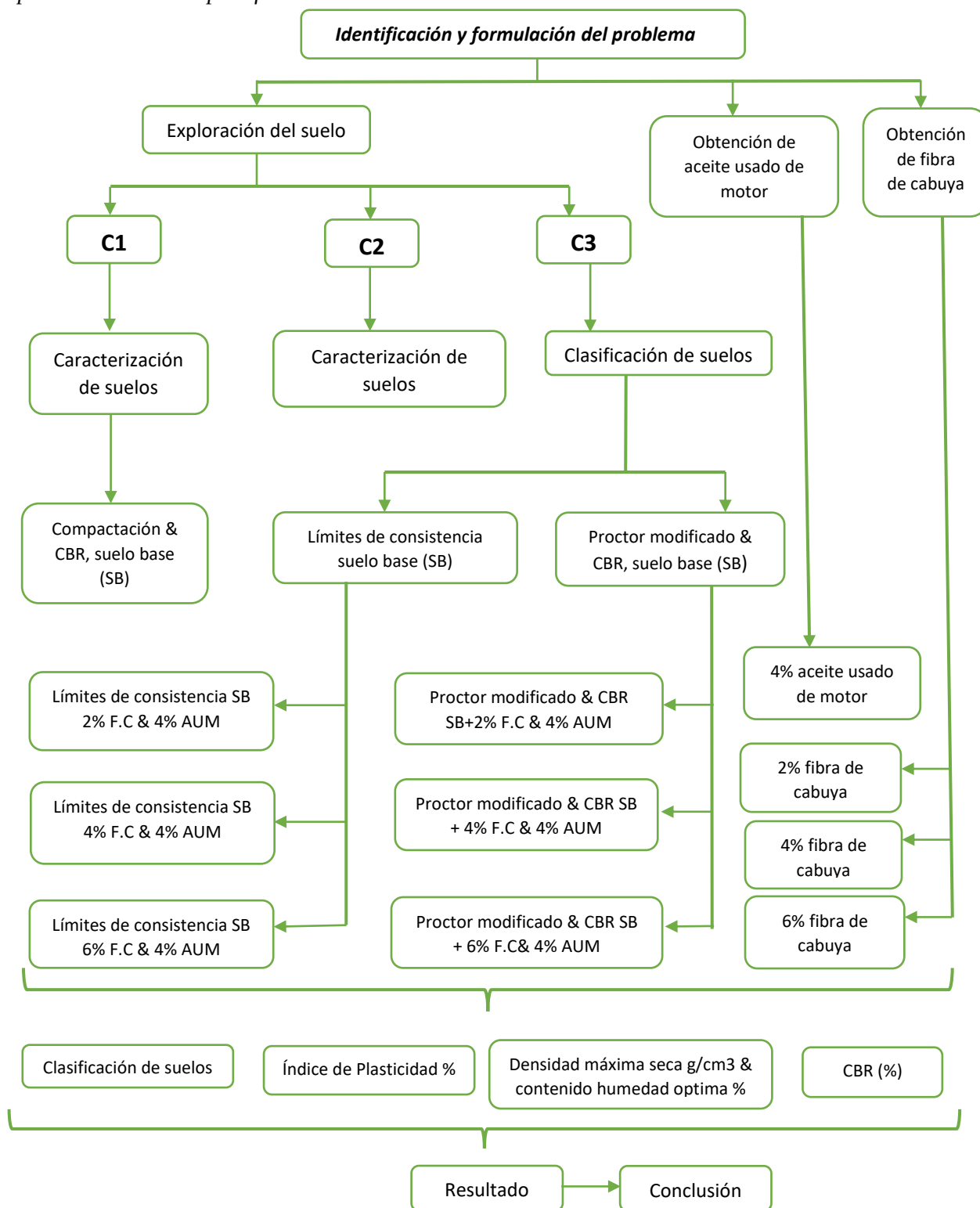
En esta investigación se seleccionó muestra representativa para realizar ensayos de laboratorio y obtener resultados, siendo de tipo no probabilístico por criterio técnico normativo, debido a la selección de puntos basados en el manual del ministerio de transportes y comunicaciones (MTC), en las progresivas de 0+000km, 0+250km y 0+500km en la Av. Juan Velazco Alvarado, distrito San Antonio, provincia de Huarochiri-Region de Lima.

4.4. Instrumentos

Tal como menciona Espinoza (2014), en una medición eficaz, el instrumento para recolectar datos, reflejar los indicadores de las variables, que se quieren medir y deben cumplir con dos criterios ser confiable y valido. Es válido cuando realmente mide la variable (pág. 147).

4.5. Procedimientos

procedimiento de la planificación de la tesis de estudio



Nota. En el diagrama se puede apreciar el procedimiento de la planificación.

4.6. Análisis de datos

A opinión de Espinoza (2014), en la actualidad el análisis de datos se ejecuta aplicando softwares informáticos, entre los cuales se tiene, estadística descriptiva, estadística inferencial, puntuaciones Z, ANOVA (pág. 109).

Para analizar los resultados de laboratorio de esta investigación, se utilizó el software Excel en base a los objetivos planteados, seguidamente se utilizó el software estadístico, ANOVA, para contrastar la hipótesis, para demostrar si influye la adición de aceite usado de motor más fibra de cabuya en la estabilización de la superficie de rodadura.

4.7. Consideraciones Éticas

Según que indica Resnik (2024), las consideraciones éticas en la investigación, busca fomentar los objetivos del estudio, defender a los investigadores, asegurar la honestidad científica y promover la responsabilidad social.

En la investigación se mantuvo los principios y normas, para garantizar que se lleve de manera responsable, segura y respetuosa, protegiendo siempre a las personas, animales, medio ambiente, asegurando la integridad científica, manteniendo la confidencialidad produciendo datos confiables y honestos.

La metodología empleada es el método hipotético – deductivo, el tipo de investigación Aplicada, nivel de investigación explicativa y un diseño experimental que contiene conocimientos científicos, técnicos que servirá de guía a la comunidad universitaria, a los tesisistas de diferentes generaciones.

V. Resultados y Discusiones

5.1.Resultados

El análisis de datos en ensayo de laboratorio revela información para evaluar la “Influencia de aceite usado de motor más fibra de cabuya en la estabilización de superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí-Lima, 2025”, en la determinación de los límites de consistencia, máxima densidad seca y optimo contenido de humedad y CBR.

Análisis granulométrico MTC E-107

Tabla 10

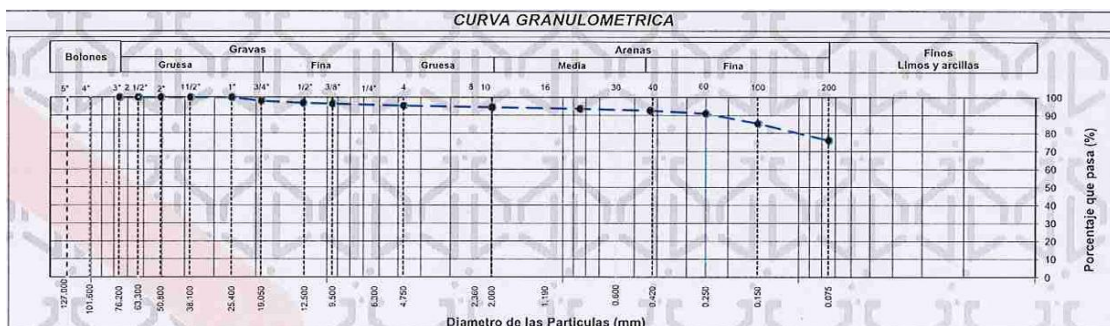
Resultado de análisis granulométrico de C-01, C-02 y C-03

Tamiz	Abertura mm	Calicata		
		C-01	C-02	C-03
3"	76.200	100.00	100.00	100.00
2 ½"	63.500	100.00	100.00	100.00
2"	50.800	100.00	100.00	100.00
1 ½"	38.100	100.00	100.00	100.00
1"	25.400	100.00	100.00	100.00
¾"	19.050	97.99	97.99	100.00
½"	12.700	96.82	96.82	100.00
3/8"	9.530	96.44	96.44	100.00
Nº 4	4.750	95.32	95.32	98.68
Nº 10	2.000	94.39	93.50	97.61
Nº 20	0.850	93.58	91.80	96.76
Nº 40	0.430	92.66	89.99	95.30
Nº 60	0.250	90.96	87.40	93.12
Nº 100	0.150	85.39	80.94	87.14
Nº 200	0.075	76.04	70.70	78.12

Nota. La tabla muestra la distribución porcentual del material pasante.

Figura 7

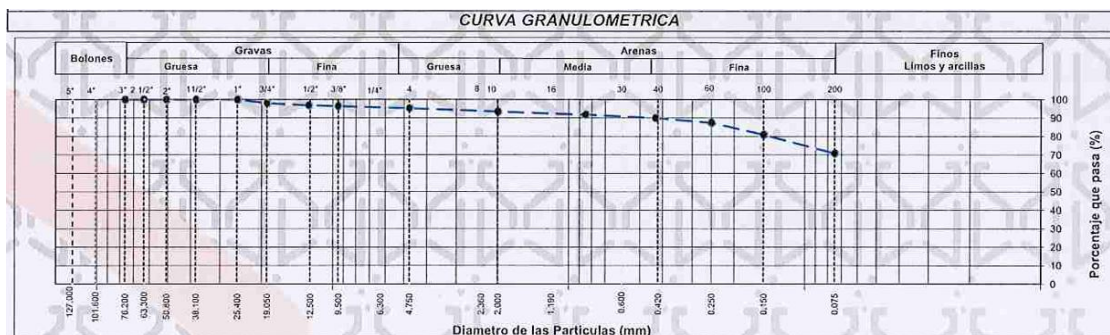
Resultado de curva granulométrico, de C-01 suelo base



Nota. La figura muestra la curva granulométrica, desde 1/2" hasta (N°200). Propia del estudio.

Figura 8

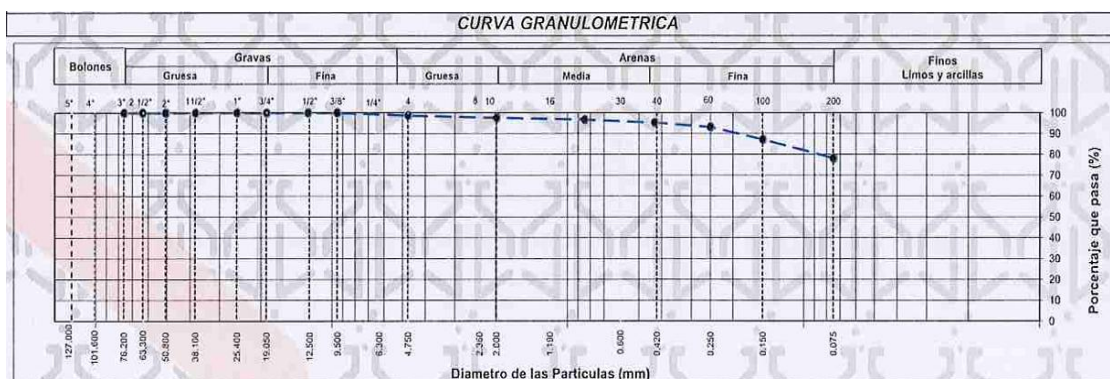
Resultado de curva granulométrico, de C-02 suelo base



Nota. La figura muestra la curva granulométrica, desde 1/2" hasta (N°200). Propia del estudio.

Figura 9

Resultado de curva granulométrico, de C-03 suelo base



Nota. La figura muestra la curva granulométrica, desde (N°4) hasta (N°200). Propia del estudio.

Clasificación de suelos por AASHTO y SUCS

La clasificación de suelos se lleva a cabo utilizando las muestras obtenidas de las tres calicatas, por AASHTO y SUCS. límites de consistencia, compactación (Proctor modificado) y CBR.

Tabla 11

Resumen de los resultados obtenidos de las calicatas

Especificaciones	Resultados		
	C-01	C-02	C-03
Profundidad	1.5	1.5	1.5
Grava %	4.7	4.7	1.3
Arena %	19.3	24.6	20.6
Fino %	76.0	70.7	78.1
Contenido de humedad %	8.2	8.2	8.2
Límite líquido %	27	27	27
Límite plástico %	22	20	22
Índice de plasticidad	5	7	5
Clasificación AASHTO	A-4(2)	A-4(2)	A-4(3)
	Suelo limoso	Suelo limoso	Suelo limoso
Clasificación SUCS	CL-ML	CL-ML	CL-ML
	Arcilla arenosa con ligera plasticidad	Arcilla arenosa con ligera plasticidad	Arcilla arenosa con ligera plasticidad
Densidad máxima seca			
gr/cm ³	1.876	1.871	1.860
Humedad óptima %	13.5	13.4	13.00
CBR al 100 %	7.1	6.4	5.7

Nota. La tabla muestra, resumen de resultados de suelo patrón.

Mediante los ensayos de laboratorio se determinó los puntos críticos, para aplicar la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya en proporciones diferentes, el punto crítico ha sido la calicata 03 la cual fue objeto de estudio.

Los datos clasificación de suelo por SUCS (ASTM D2487) – (CL-ML) y AASHTO (ASTM D3282) – (A-4(3) como descripción es suelo “Arcilla limosa con arena”.

Tabla 12

Tramos críticos en base a CBR

Tramos Críticos	
Muestra	CBR (%)
C-1 al 100%, 0.1”	7.1
C-1 al 95%, 0.2”	4.2
C-3 al 100%, 0.1”	5.7
C-3 al 95%, 0.2”	3.2

Nota. La tabla muestra, el índice del CBR más bajo en la calicata 03.

El suelo de afirmado debe tener un $CBR \geq 40\%$, si tuviera un valor bajo debería de remplazarse el material o caso contrario mesclar con algún químico, aditivos, cal, cemento etc. que pueda mejorar la capacidad de soporte del suelo.

Límites de consistencia

Los ensayos de los límites de consistencia (LL, LP y IP), se realizan en base al manual de ensayos de laboratorio del MTC.

Tabla 13

Proporciones empleadas en material arcilla limosa con arena

Muestra	Aceite usado de motor %	Fibra de cabuya %
C-03	4	2
C-03	4	4
C-03	4	6

Nota. La tabla muestra las proporciones de AUM y FC.

a) Resultados de ensayo IP, con la adición de AUM Y FC

Los resultados muestran visión clara sobre la plasticidad del suelo y las variaciones de humedad.

Tabla 14

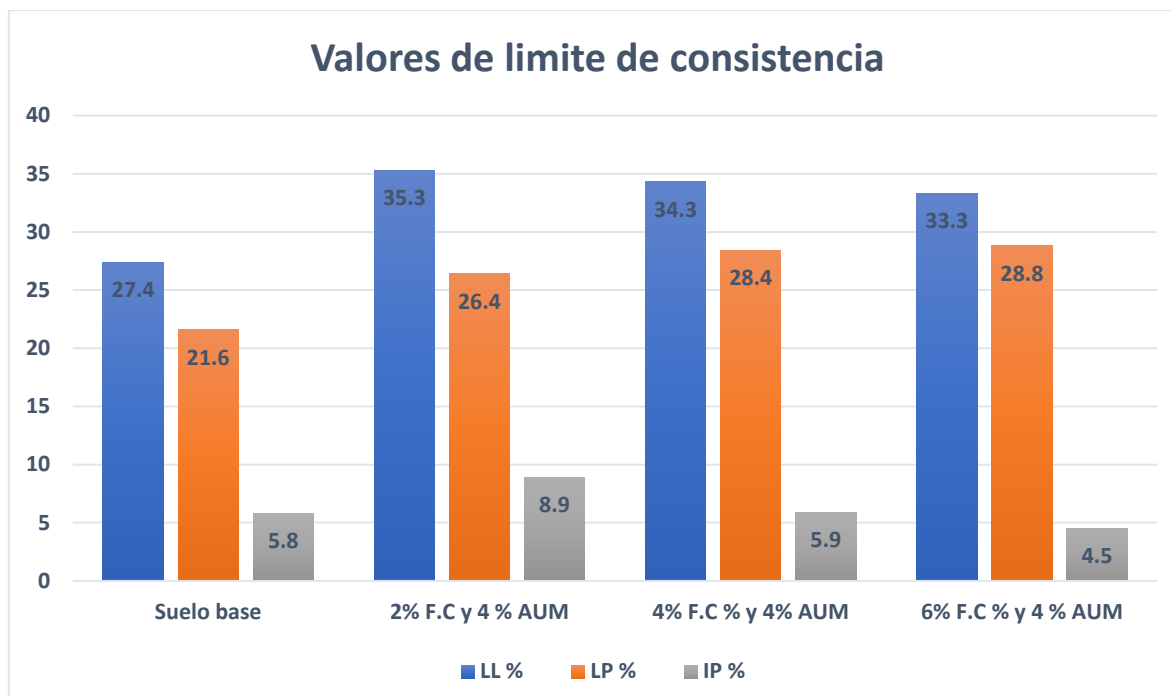
Resultados de IP, suelo base más la adición de FC y AUM

Combinación del suelo	LL %	LP %	IP %
Suelo base	27.4	21.6	5.8
2% F.C y 4 % AUM	35.3	26.4	8.9
4% F.C % y 4% AUM	34.3	28.4	5.9
6% F.C % y 4 % AUM	33.3	28.8	4.5

Nota. La tabla muestra resultados de IP, de suelo base más adición FC y AUM. Elaboración propia.

Figura 10

Representacion grafica del LL, LP y IP con la adicon de FC y AUM



Nota. La grafica muestra los valores del LL, LP y IP, con la adición de FC y AUM.

Según la tabla 14, muestra el IP de suelo base, correspondiente a arcilla limosa con arena de 5.8 % de plasticidad baja es poco plástico un material con poca cohesión y deformabilidad. La dosificación 4% AUM y 2% FC se obtiene un índice de plasticidad 8.9% plasticidad media con esta dosificación aumenta indicando que se vuelve más plástico reteniendo más agua y más deformable esto ocurre cuando la AUM y FC modifica las características del suelo y con la adición de 4%AUM y 4%FC se obtiene un índice de plasticidad de 5.9 % plasticidad baja, la dosificación con esta proporción disminuye la plasticidad ocasionando un comportamiento más resistente y menos deformable demostrando una dosificación optima con índice de plasticidad dentro del rango tal como indica el MTC.

a) Resultados de ensayo Proctor modificado MTC E-115, con adición de AUM y FC

Mediante los ensayos de laboratorio se determina, la densidad máxima seca y el contenido de humedad optima, estos parámetros permitieron evaluar la influencia de los aditivos en el comportamiento de compactación del suelo y establecer las condiciones óptimas para la preparación de las muestras destinadas a los ensayos mecánicos posteriores, como el CBR.

Tabla 15

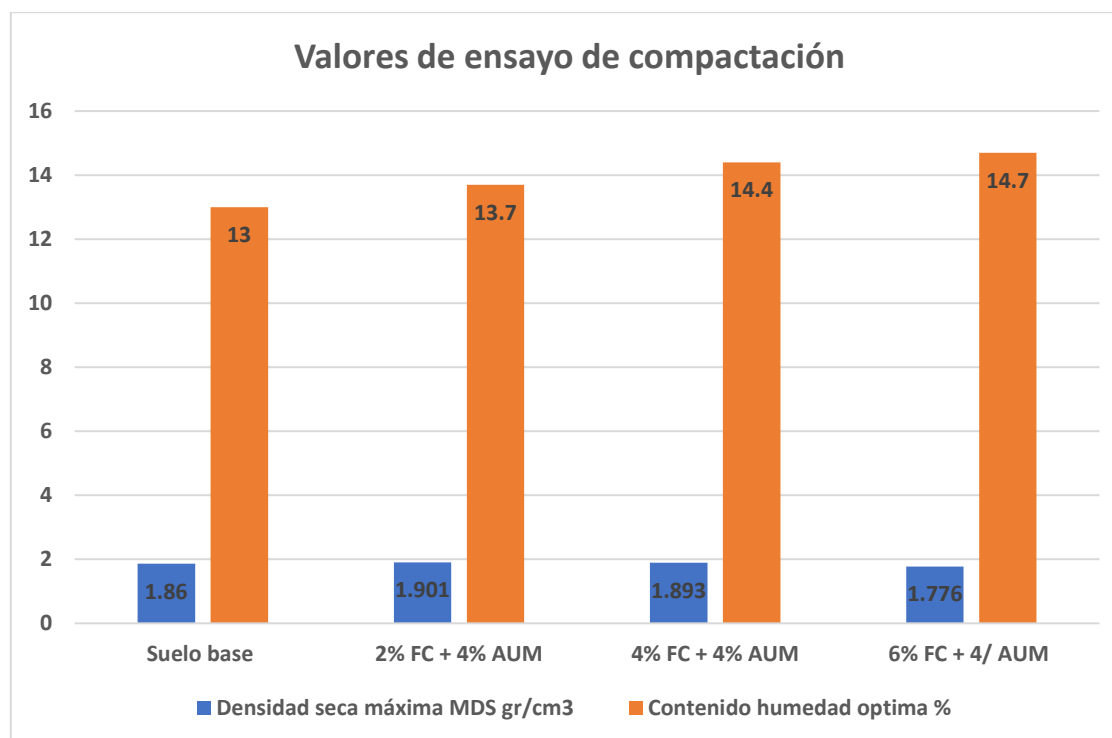
Datos de ensayo de compactación, con adición de AUM y FC

Suelo base & FC+AUM	Densidad seca máxima MDS gr/cm3	Contenido humedad optima %
Suelo base	1.860	13.00
2% FC + 4% AUM	1.901	13.7
4% FC + 4% AUM	1.893	14.4
6% FC + 4/ AUM	1.776	14.7

Nota. La tabla muestra hallazgos del ensayo de Proctor modificado con adición de AUM y FC, también la dosificación más optima.

Figura 11

Representación gráfica de la densidad seca máxima y humedad optima con adición



Nota. La gráfica muestra los valores de densidad seca máxima y humedad optima con la adición de FC y AUM.

Según la tabla 15, los ensayos de compactación permiten identificar la influencia de aceite usado de motor y fibra de pita en el comportamiento de compactación del suelo, en material base se obtuvo valores de MDS 1.860kg/cm³ y OCH 13.00% sirviendo como punto de comparación para el análisis en las dosificaciones de 2%, 4%, 6% de fibra de cabuya y 4% aceite usado de motor en proporción fija.

La dosificación de 4% AUM y 2% FC, obtuvo la mayor densidad seca máxima 1.901gr/cm³ que indica una mejora al respecto de suelo base, el aceite usado de motor

trabajando como agente lubricante consiguiendo un realineamiento de las partículas del suelo, a la vez la humedad optima aumento a 13.70%.

Cuando la dosificación se incrementa a 4% AUM y 4% FC, la densidad seca máxima disminuye a 1.893gr/cm³ debido a que el exceso de fibra de cabuya genera vacío y evita el acomodo de partículas, con la dosificación de 4% AUM y 6% FC, aun mas disminuye la densidad seca máxima 1.776gr/cm³ a mayor fibra de cabuya genera vacíos y evita el acomodo de partículas. Paralelo a eso aumenta la humedad optima hasta 14.70%.

Se aclara que le mejor dosificación ha sido 4% AUM y 4% FC, es la que genera mejor compactación del suelo y por equilibrio de plasticidad y máxima densidad seca. Por lo tanto, elevadas proporciones de fibra de cabuya con aceite usado de motor fijo en 4% disminuye significativamente la compactibilidad del material. Estos resultados afirman que existe una dosificación exacta de AUM y FC para continuar con los ensayos de CBR de esa manera demostrar la influencia de aceite usado de motor y fibra de cabuya.

b) Resultados de ensayo CBR MTC E-132, con adición de AUM y FC

Tabla 16

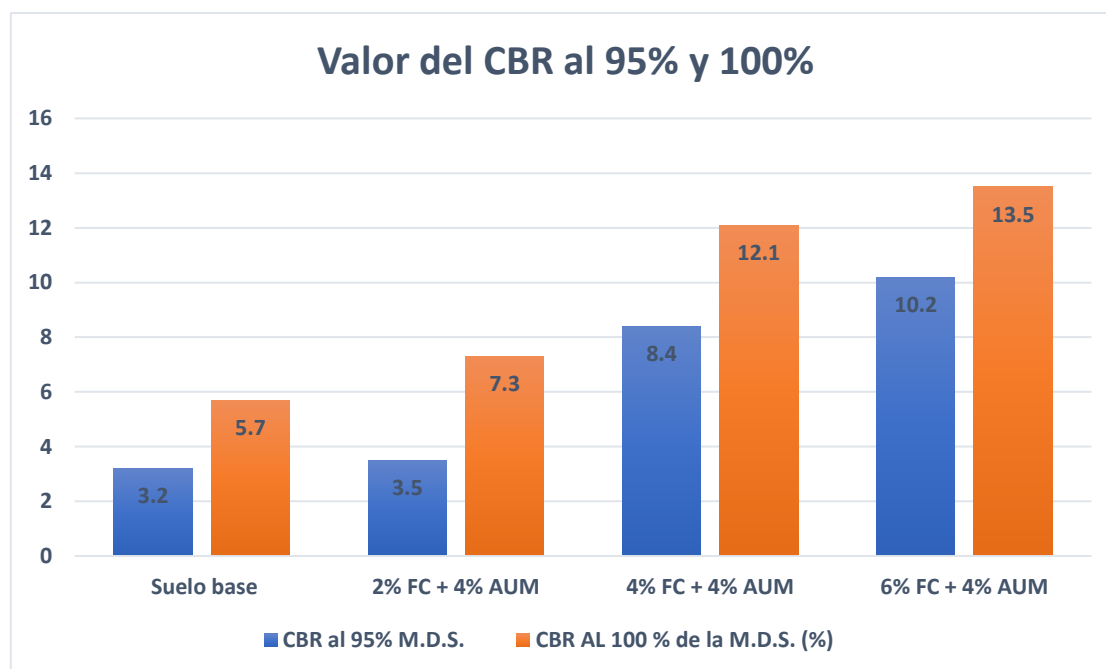
Valores de CBR con adición de FC y AUM

Suelo base & FC + AUM	CBR al 95% M.D.S.	CBR AL 100 % de la M.D.S. (%)
Suelo base	3.2	5.7
2% FC + 4% AUM	3.5	7.3
4% FC + 4% AUM	8.4	12.1
6% FC + 4% AUM	10.2	13.5

Nota. La tabla muestra los valores de CBR con la adición de FC y AUM.

Figura 12

Representación gráfica del índice de CBR, con adición de FC y AUM



Nota. La grafica muestra los índices del CBR, con la adición de FC y AUM.

Se generaron tres especímenes compactados a partir de la MDS y OCH obtenido en ensayo de Proctor modificado, cada espécimen fue compactada con energía de 56, 25 y 12 golpes, una vez compactado fueron sometidos a un proceso de saturación durante 4 días y 96 horas al termino de inmersión, las muestras son expuestas a la prensa del CBR, con la finalidad de obtener la resistencia a la penetración aplicando la fuerza requerida.

Los ensayos de laboratorio de CBR permiten demostrar la influencia de aceite usado de motor más fibra de cabuya en la compactación del suelo. Según la tabla 16, muestra el CBR al 95% es 3.2% y al 100% es 5.7% sirvió como punto de comparación para las dosificaciones.

La dosificación de 2 % FC y 4 % AUM aumento moderadamente la resistencia del suelo al 95% es 3.5% y al 100% es 7.3% indica que las partículas del suelo se acomodan. La dosificación de 4 % FC y 4 % AUM genero un incremento considerable la resistencia del suelo al 95% es 8.4% y al 100% 12.1% esto indica que la fibra de cabuya en proporciones controladas actúa como agente estabilizador eficiente mejorando la capacidad de carga a la penetración. La adición de 6% FC y 4% AUM genero valores altos de CBR al 95% 10.2% y al 100% 13.5% lo que indica la fibra de cabuya más aceite usado de motor en porcentaje fijo mejora las propiedades mecánicas y físicas del suelo fino.

La adición de 4% AUM y 6% FC genero valores altos de 13.5% de CBR lo que indica aceite usado de motor en 4% fijo y incremento de CBR mejora capacidad de soporte del suelo, sin embargo, por equilibrio de plasticidad, compactación y CBR se eligió la dosificación 4% AUM y 4% FC que llego al 12.1% mas que el doble. Pero No, obstante la mejora obtenida no fue lo suficiente para alcanzar los valores recomendados para superficies de rodadura no pavimentadas que es cercano o mayores que el 40%.

5.2.Discusiones

El ensayo CBR obtenido del suelo patrón de C-03 al 95% es 3.2% y al 100% es 5.7%, un valor que se encuentra por debajo del índice del CBR según el MTC, lo que indica que la muestra no satisface los lineamientos para sub rasante ni para capa de superficie de rodadura no pavimentada por consiguiente se realizó la incorporación de agentes de diferentes proporciones 4% de AUM en proporción fijo y 2%, 4%, 6% FC para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, arcilla limosa con arena.

5.2.1. Con respecto al Índice de plasticidad (IP)

Tal como indica la tabla 14, se aprecia un índice de plasticidad de 5.8% de plasticidad baja correspondiente a un suelo arcilla limosa con arena, es poco plástico un material con poca deformabilidad y cohesión, con la dosificación de 4% AUM + 2% FC aumento la plasticidad a 8.9% de plasticidad media indica que se vuelve más plástico reteniendo más agua y más deformable, con la dosificación de 4% AUM + 4% FC se obtiene un IP de 5.9% plasticidad baja con esta dosificación disminuye la plasticidad generando un comportamiento más resistente y menos deformable, por último la dosificación de 4% AUM + 6% FC disminuye el índice de plasticidad 4.5% plasticidad baja, sin embargo la dosificación 4% AUM y 4% FC indica siendo favorable para la estabilización de capa sub rasante y superficie de rodadura no pavimentada.

Tal como indica Ayquipa (2024), en su tesis “Influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay – Apurímac 2023”. Obtubo un indice de plasticidad de suelo base 5.93% sera valor de comparacion, realizo 3 dosificaciones con la adision de 2% AAR obtubo IP. 6.10%, con la adision de 4% AAR obtubo IP. 4.57% y 6% AAR obtubo IP. 5.70%, reconoce la dosificacion mas optima es el 2%AAR.

Tal como señala Ramos (2021), en su tesis titulado “Mejoramiento de suelo arcilloso nivel de subrasante aplicando fibra de cabuya en Av. Cuzco - distrito mi Perú-Callao 2020”. Obtubo un índice de plasticidad de suelo base 7% sera valor de comparacion, realizo 3 dosificaciones con la adision de 10% FC obtubo IP. 6%, con la adision de 15% FC obtubo IP. 5% y 20 % FC obtubo IP. 5%, indica que la dosificacion mas optima es el 20% FC.

Según Castillo & Orobio (2021), menciona en su revista titulado “Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite usado en un suelo fino de sub rasante”. En la clasificación por SUCS, se tiene un suelo limo de alta plasticidad (MH), 21.16% arcilla, 61.08% limo y 17.76 de arena, in índice plástico de suelo base de 18.52% que sirvió de base para la comparación con dosificaciones de aceite usado en 4%, 8%, 12% y 16% indicando que los límites de consistencias en 4% y 8% se mantienen constante a mayores proporciones de dosificación tienden a disminuir el índice de plasticidad, se debe a que primero se mezcla aceite usado con el suelo, se genera una película en el contorno de las partículas y evitando que el agua se adhiera al material reduciendo el contenido del agua.

5.2.2. En relación a Proctor modificado MTC E-115

En relación MDS en suelo base tuvo un hallazgo de 1.860gr/cm³ y humedad optima 13% correspondiente un suelo arcilla limosa con arena, con las dosificaciones de 4% AUM más las proporciones de 2%, 4%, 6% FC, primera dosificación de 4% AUM y 2% FC incremento MDS 1.901gr/cm³ y OCH 13.70%, segunda dosificación 4% AUM Y 4% FC disminuyo MDS 1.893gr/cm³ y aumenta OCH 14.4%, tercera dosificación 4% AUM y 6% FC disminuye DSM 1.776gr/cm³ y aumenta más OCH 14.7%, debido a la capacidad de succión de la fibra de cabuya.

La dosificación más optima y por equilibrio de índice de plasticidad y compactación es 4% AUM + 4% FC resulto como mejor proporción para la compactibilidad del suelo.

Según Ayquipa (2024), menciona en su tesis “Influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay – Apurímac 2023”. En relación MDS en suelo base tuvo un hallazgo de 2.183gr/cm³ correspondiente un suelo material granular, en la primera dosificación de 2% AAR incremento MDS 2.196gr/cm³, segunda dosificación 4% AAR disminuyo MDS 2.178gr/cm³, tercera dosificación 6% AAR disminuye DSM 2.160gr/cm³, La dosificación más optima y por equilibrio de índice de plasticidad y compactación es 2% AAR resulto como mejor proporción para la compactibilidad del suelo.

Tal como indica Ramos (2021), en su tesis titulado “Mejoramiento de suelo arcilloso nivel de subrasante aplicando fibra de cabuya en Av. Cuzco - distrito mi Perú-Callao 2020”.

En relación MDS en suelo base tuvo un hallazgo de 2.026gr/cm³ correspondiente un suelo arcilla limosa, en la primera dosificación de 10% FC incremento MDS 2.070gr/cm³, segunda dosificación 15% FC incrementa MDS 2.076gr/cm³, tercera dosificación de 20% FC incrementa DSM 2.101gr/cm³, La dosificación más optima y por equilibrio de índice de plasticidad y compactación es 20% FC resulto como mejor proporción para la compactibilidad del suelo.

5.2.3. Con respecto a índice CBR

El índice CBR de suelo base al 100% se tubo 5.7%, correspondiente a un suelo arcilla limosa con arena, con las dosificaciones de 4% AUM y 2%, 4%, 6% en la primera combinación de 4% AUM y 2% FC al 100% incrementa a 7.3%, en la segunda combinación de 4% AUM y 4% FC también se incrementa a 12.1% finalmente en la tercera combinación de 4% AUM y 4%

FC aún se incrementa más 13.5%, esto indica a mayor proporción de fibra de cabuya y el aceite usado de motor en proporción fija, mejora las propiedades del suelo y la capacidad de soporte de suelo. La adición de 4% AUM y 6% FC generó valores altos de CBR al 95% 10.2% y al 100% 13.5% lo que indica a más fibra de cabuya y aceite usado de motor fijo mejora la capacidad de soporte. Sin embargo, por equilibrio de plasticidad, compactación y CBR se eligió la dosificación 4%FC y 4%AUM que llegó al 12.1% más que el doble. Pero la mejora obtenida no fue lo suficiente para alcanzar los valores recomendados para superficie de rodadura no pavimentada que es cercanos o mayores que el 40%.

Tal como indica Ayquipa (2024), en su tesis “Influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay – Apurímac 2023”. Obtuvo un valor de CBR de suelo base 34.33% será valor de comparación, realizó 3 dosificaciones con la adición de 2% AAR obtuvo CBR. 43.40%, con la adición de 4% AAR obtuvo CBR. 35.82% y 6% AAR obtuvo CBR. 28.53%, reconoce la dosificación más óptima es el 2%AAR llegando al valor 43.40% aumentando la capacidad de soporte del suelo.

Tal como señala Ramos (2021), en su tesis titulado “Mejoramiento de suelo arcilloso nivel de subrasante aplicando fibra de cabuya en Av. Cuzco - distrito mi Perú-Callao 2020”. Obtuvo un CBR de suelo base 19.5% será valor de comparación, realizó 3 dosificaciones con la adición de 10% FC obtuvo CBR 31.1%, con la adición de 15% FC obtuvo 35.5% y con la adición de 20 % FC obtuvo CBR. 38.5%, indica que la dosificación más óptima es el 20% FC, demostrando mejoramiento en las propiedades mecánicas del suelo y capacidad soporte del suelo arcilla limosa.

5.3.Prueba de hipótesis

Contrastación de hipótesis

Hipótesis general

La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya influye en la estabilización de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima, 2025.

Hipótesis específicas

a) Hipótesis específica 01

La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en la plasticidad de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima 2025.

Tabla 17

Valores previos para el análisis del LL

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig. α
	353.120	9	39.236	1.502	0.050
LL	52.260	2	26.130		
	405.380	11			

Nota. La tabla muestra, datos previos para el análisis del LL, con $\alpha = 0.050$.

La significancia $\alpha = 0.050$ es igual a 0.050, lo que demuestra es que hay diferencias estadísticas significativas entre los grupos para la dimensión LL, indicando la posibilidad de que la hipótesis sea viable, esto indica que la significancia es óptima, con un nivel 95% de nivel de confianza.

Seguidamente, se analiza los valores previos para el LP.

Tabla 18

Valores previos para el análisis de LP

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig. α
	431.901	9	47.989	12.993	0.049
LP	7.387	2	3.693		
	439.288	11			

Nota. La tabla se muestra, los datos previos para el análisis de LP. Con $\alpha=0.049$.

La prueba de hipótesis presenta valor de significancia $\alpha = 0.049$ que es menos de 0.050 esto señala que existe una desigualdad estadísticamente significativa en LP entre los grupos, esto quiere decir que la diferencia en los promedios de los conjuntos no se debe al azar.

Tabla 19

Valores previos para evaluación de IP

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig. α
	37.489	9	4.165	0.376	0.079
IP	22.160	2	11.080		
	59.649	11			

Nota. La tabla muestra, los datos previos para el análisis del IP, con significancia $\alpha = 0.079$.

La prueba de hipótesis muestra la significancia de 0.079, se sitúa entre 0.050 y 0.10 esto indica una posible tendencia significativa en la dimensión IP, aunque no concluye a un nivel de confianza de 95%.

Conclusión, Hipótesis específica 01

H₁ = La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en la plasticidad de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima 2025.

Los resultados de las hipótesis indican que la incorporación de aceite usado de motor y fibra de cabuya tiene impacto positivo en límite plástico LP, porque su significancia es menor a 0.050 así mismo, la incorporación aceite usado de motor y fibra de cabuya afecta LL y IP, ya que su significancia se encuentra en los límites.

b) Hipótesis específica 02

La incorporación de aceite usado de motor más fibra de cabuya, impacta en la compactación de la superficie de rodadura en Av. Velasco Alvarado, Huarochirí - Lima 2025.

Tabla 20

Valores previos, evaluación de MDS.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig. α
	5.923	9	0.658	0.328	0.057
MDS	4.007	2	2.003		
	9.929	11			

Nota. La tabla muestra los datos previos para el análisis de MDS con nivel de $\alpha = 0.057$.

La prueba de hipótesis con $\alpha=0.057$ que equivale a 0.05, lo que señala que, si existe diferencias estadísticas significativas entre los grupos en la dimensión MDS, esto significa que la hipótesis es viable, esto indica una importancia optima con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 21

Valores previos, evaluación de OCH.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig. α
	9.382	9	1.043	0.084	0.050
OCH	24.827	2	12.413		
	34.209	11			

Nota. La tabla muestra los datos previos estadísticos de OCH con una significancia $\alpha = 0.050$.

Si, existe desigualdad estadísticamente significativa entre los grupos con relación a la dimensión OCH, esto es igual a $\alpha = 0.050$ lo que demuestra que la hipótesis es factible. Esto indica una importancia optima con un 95% de confianza.

Conclusión, hipótesis específica 02

H₁ = La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en la compactación de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima 2025.

Según los hallazgos de las hipótesis, el aceite usado de motor y fibra de cabuya tiene un efecto positivo en la compactación. Esto se debe a que la significancia $\alpha = 0.050$ para el valor de MDS y OCH lo cual se encuentra dentro del rango mínimo requerido.

c) Hipótesis específica 03

La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en el CBR de la superficie de rodadura en Av. Velasco Alvarado, Huarochirí - Lima 2025.

Tabla 22

Valores previos, evaluación del CBR.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig. α
	0.094	9	0.010	23.983	0.048
CBR	0.001	2	0.000		
	0.094	11			

Nota. La tabla muestra, los datos previos estadísticos de CBR, con una significancia $\alpha = 0.048$.

El resultado de la prueba es 0.047 que resulta ser menor a 0.050 esto indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos en relación con la variable CBR, esto indica que la diferencia en los promedios, no se debe al azar.

Conclusión, hipótesis específica 03

H₁ - La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en el CBR de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima 2025.

Según los resultados de las hipótesis, la tendencia es posible concluir que la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, tiene una influencia positiva en capacidad de soporte del suelo CBR, esto se debe a que el valor está dentro del rango 0.050 lo que coincide con mínima requerida. Pero mas no la mejora obtenida no fue suficiente para alcanzar los valores recomendados para una superficie de rodadura no pavimentada.

Conclusión, hipótesis general

Tabla 23

Datos de los objetivos específicos para cumplir el objetivo general

ANOVA					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig. α
LL	353.120	9	39.236	1.502	0.050
	52.260	2	26.130		
	405.380	11			
LP	431.901	9	47.989	12.993	0.049
	7.387	2	3.693		
	439.288	11			
IP	37.489	9	4.165	0.376	0.079
	22.160	2	11.080		
	59.649	11			
MDS	5.923	9	0.658	0.328	0.057
	4.007	2	2.003		
	9.929	11			
OCH	9.382	9	1.043	0.084	0.050
	24.827	2	12.413		
	34.209	11			
CBR	0.094	9	0.010	23.983	0.048
	0.001	2	0.000		
	0.094	11			

Nota. En la tabla se muestra, los datos de los objetivos específicos. Software SPSS V.16.

H₁ = La adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya, influye en la estabilización de la superficie de rodadura en Av. Juan Velasco Alvarado, Huarochirí – Lima 2025.

Los resultados del análisis estadístico evidencian que la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya produjo cambios en las propiedades mecánicas del suelo. No obstante, solo la dimisión CBR presentó una diferencia estadísticamente ($p = 0.047$), mientras que el índice de plasticidad (0.079) y la máxima densidad seca (0.057). Sin embargo, al ser menor que 0.10, el resultado sugiere una posible tendencia hacia la significancia estadística. Desde el punto de vista técnico, si bien el tratamiento mejoró las propiedades del suelo, los valores obtenidos no fueron suficientes para cumplir los requisitos exigidos para una superficie de rodadura no pavimentada. En consecuencia, la mezcla evaluada mostró un desempeño adecuado únicamente para un nivel de subrasante.

VI. Conclusiones

Objetivo general

Se demostró en suelo arcilla limosa con arena la dosificación optima es 4% AUM y 4% FC con valor de CBR de 12.10% incrementando más del doble del suelo base que es 5.7%, Los resultados permiten afirmar que la adición de aceite usado de motor y fibra de cabuya influyó en las propiedades mecánicas del suelo, especialmente en la capacidad de soporte (CBR), donde se encontraron diferencias estadísticamente. Sin embargo, la magnitud de la mejora alcanzada no fue suficiente para estabilizar el suelo al nivel requerido para una superficie de rodadura no pavimentada. Por ello, aunque el tratamiento evidenció una influencia sobre el comportamiento del suelo, su efecto resultó adecuado únicamente para mejorar las condiciones de una subrasante.

Objetivo específico 01

Se interpretó el índice de plasticidad de suelo base 5.8% clasificándose como baja plasticidad correspondiente a suelo arcilla limosa con arena, con la incorporación de 4% (AUM) y 4% (FC) llega la plasticidad a 5.9% baja plasticidad como muestra en la tabla 19, asimismo, la prueba de hipótesis de 0.079, se sitúa entre 0.050 y 0.10 esto indica al encontrarse por debajo de 0.10, el resultado evidencia una tendencia estadística que sugiere un posible influencia del tratamiento en la dimensión IP, aunque no concluye a un nivel de confianza de 95%.

Objetivo específico 02

Se interpretó que la máxima densidad seca (MDS) y contenido de humedad optima (OCH) de material arcilla limosa con arena, presentaron valores en suelo base de 1.860gr/cm³ y 13.00%,

respectivamente con la adición de 4% (AUM) y 4% (FC), obtiene valores de 1.893gr/cm³ y 14.4%. tal como se muestra en la tabla 20, se obtuvo estadísticamente un valor 0.057 mayor que 0.05 indica no existe evidencia suficiente para afirmar que influyo en el tratamiento de esta dimensión con una confianza al 95%. Sin embargo, al estar el valor de p muy próximo a 0.05, los resultados sugieren una tendencia hacia la significancia estadística.

Objetivo específico 03

Se interpretó el CBR, en material arcilla limosa con arena un CBR inicial 5.7%, con la incorporación de 4% AUM y 4% FC incremento al valor de CBR de 12.10% el doble del suelo base, como indica en la tabla 22, se obtuvo estadísticamente un valor de $p=0.048$ este valor se encuentra dentro del rango aceptable e indicando que el aceite residual y fibra de cabuya influye en la capacidad de soporte de california CBR. Pero mas no estos valores satisfacen a los valores recomendados para la superficie de rodadura no pavimentada.

VII. Recomendaciones

Recomendación general

Se recomienda utilizar 4% AUM y 4% FC, en suelo arcilla limosa con arena debido a que mejoran las propiedades mecánicas del suelo y capacidad de soporte de california para sub rasante mas no para superficie de rodadura.

Recomendación 01

Se recomienda hacer uso de aceite residual de motores y fibra de cabuya en proporciones controladas.

Recomendación 02

Para la compactación del material arcilla limosa con arena se recomienda emplear 4% AUM y 4% FC.

Recomendación 03

Se recomienda hacer investigación incorporando en proporciones iguales AUM = FC más la incorporación de material pétreo.

VIII. Referencias

Agecy Environmental Protection. (2025). Regulacion de aceite usado de motor.

Environmental Protection Agecy, 6.

Aguirre Fuelantala , G., & Full Valencia , J. (10 de 10 de 2021). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos finos mediante la adición de residuos provenientes de fibras vegetales*. Tesis de ingeniería civil. Universidad Militar Nueva Granada.

Arce Llactahuaman, P. K. (2023). *Influencia de las fibras de agave en las propiedades físicas y mecánicas del suelo para la sub rasante de la trocha carroable Chiquintirca-Cajadela, Ayacucho, 2022*. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga-Ayacucho-Peru.

Asociacion para el fomento de la infraestructura Nacional [AFIN]. (2023). Conoce las Necesidades de Inversion en Carreteras del Peru. *Informe Especial*, 12.

Ayquipa Roman , R. (2023). *Influencia de la aplicación del aditivo oleoso residual reutilizado en el afirmado de la carretera AP 617, Abancay-Apurimac 2023*. UTEA Apurimac.

Barrantes Vega , W. (2018). Influencia de la concentración de miel de *Furcraea andina* “cabuya” en el comportamiento microbiológico y fisicoquímico de un yogurt probiótico natural. *SCIENDO* , 12.

Braja M. Das. (2015). *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica*. Mexico: Ediciones OVA.

- Campos Benavides, K. (2024). *Repositorio Institucional UNDAC*. Obtenido de Repositorio Institucional UNDAC:
file:///E:/ARCHIVOS%20CC/Downloads/T026_71387749_T.pdf
- Castillo, R. D., & Orobio, A. (2021). Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite de motor usado en un suelo fino de subrasante. *Informes de la construccion*, 8.
- Chiclla Chavez , R. (2022). Cabuya o maguey: Usos y carateristicas . *Animales y plantas de Peru*, 06.
- Comite Tecnico . (2006). *Convenio 063 de 2005 colombia* . Obtenido de <https://uis.edu.co/wp-content/uploads/2022/09/Manejo-de-Aceites-Lubricantes-Usados-1.pdf>
- Corcuera Sakamoto, J., & Jayo Huamán, J. (2024). *Influencia de la Incorporación de Aceite Reciclado de Motores en la la relacion de soporte de california (CBR) y en el costo de una superficie de rodadura de afirmado*, Lima 2024. UTP, Lima-Peru.
- Deribu, S. (06 de 2022). *Estabilizacion de suelos subrasante utilizando aceite de motor usado para la construccion de carreteras*. Universidad Jimma, Jimma Etiopía .
- Environment. (2020). Directriz para la gestion y manejo aceite usado . 36.
- Espinoza Montes , C. (2014). *Metodologia de Investigacion Tecnologica* . Peru: Soluciones Graficas S.A.C.
- GF, SOWERS GB & SOWERS. (1972). *Introduccion a la mecanica de suelos y cimentaciones*. Mexico: LIMUSA WILEY, S.A.

- Hamid , G., & Meziani , M. (2023). Evaluating the impact of motor oil, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and NaCl on the behavior of lime-stabilized high-plasticity grey clayey soil. *ResearchGate*, 24.
- Hernandez Sampiere , R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodologia de la Investigacion* . Mexico: Mexicana, Reg. Núm. 736.
- Huaman Pinedo, J. D., & Camacho Dominguez, D. (2022). *Uso del aceite residual de motor diésel para mejorar las propiedades mecanicas de la sub rasante de un pavimento*. Universidad Nacional de Jaen-Peru.
- Iqbal, K., Xu, C., Nasir, H., Alam, M., Farooq, A., & Williams, E. (2020). Efecto del aceite de motor usado y del betún como aditivo sobre la permeabilidad y las propiedades mecanicas del suelo de baja plasticidad. *Avances en la ciencia y la ingeniería de materiales*, 10.
- Jerez F., A. (2020). SISTEMA AASHTO M-145. *SCRIBD*, 7.
- Karl R. Popper. (1980). *La logica de la Investigacion Cientifica*. MADRID: TECNOS S.A.
- King O, L. (2020). *Determinacion de Humedad en suelo ASTM D-2216*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/458154059/Determinacion-Del-Contenido-de-Humedad-ASTM-D-2216>
- Lopez Daza, X., & Torbisco Ascue, D. (2021). *Aprovechamiento de la fibra de cabuya para el mejoramiento de las propiedades mecanicas de la mesca tradicional de adobe en una unidad de albañileria en el distrito de Abancay, departamento de Apurimac*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas- Lima-Peru.

- Majida, E., Babab, K., & Razzoukdo, Y. (2023). Evaluación del impacto de las fibras vegetales en los parámetros de hinchamiento de dos variedades de suelos expansivos. *EL SEVIR*, 11.
- Meneses Silvera, E. (2024). *Incorporación de fibra de cabuya para estabilizar la subrasante de la trocha carrosable - Distrito de Anco Huallo - Apurmiac, 2024*. Universidad Cesar Vallejo, Callao Perú.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible. (2006). *Manual técnico para el manejo de aceites lubricantes usados*. Obtenido de República de Colombia.: https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_qu%C3%ADmicas_y_residuos_peligrosos/manual_aceites_usados.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Ministerio de Cultura y Deporte . (2026). Obtenido de En Tesoros del Patrimonio Cultural de España: <https://tesoros.cultura.gob.es/tesoros/tesoros>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2014). *Manual de Carreteras Suelo Geología, Geotecnia y pavimntno seccion suelo y paviemnto*. Peru: Hecho el deposito legal en la biblioteca nacional del Peru N°. 2014-08985.
- Montejo Fonseca , A. (2001). *De Pavimentos Para Carreteras*. Colombia.
- MTC. (2008). *Manual Para el diseño de carreteras no pavimentadas en bajo volumen de transito*. Lima: Tarea Asociacion Grafica Educativa.

- MTC. (2014). *Manual de Carreteras suelos geologia, geotecnia y pavimento seccion suelos y pavimentos*. Peru: Hecho el depósito legal en la biblioteca nacional del Peru No. 2014-08985.
- MTC. (Febrero de 2015). Obtenido de Documento tecnico Soluciones Basicas en Carreteras No Paviemtadas:
 file:///E:/ARCHIVOS%20CC/Desktop/Tesis%20Informacion%20Oriel/Libros/Doc.%20Tecnico%20Soluciones%20B%C3%A1sicas%20(RD%20003_2015_MTC_14).pdf
- MTC. (2016). *Manual de Ensayos de Laboratorio*. Edision 2016.
- Neville , A.M.; Brooks, J.J.,. (2010). *CONCRETE TECHNOLOGY*. REINO UNIDO : PEARSON EDUCATION LIMITED.
- Orellana Quezada , C., & Tenesaca Calle, L. (28 de 02 de 2023). *Uso de materiales Pétreos modificados para mejorar la estructura de vias urbanas en lastre del canton de Cuenca*. Universidad de CUENCA-Ecuador.
- Patin Patin , A. (2021). *"Reciclado de aceite quemado de vehiculos en la estabilizacion de suelos arenosos"*. Universidad Nacional de chimborazo-Riobamba Ecuador.
- Petro-Canada Lubricants. (2025). *Analisis de aceite usado*. Obtenido de <https://petrocanadalubricants.com/es-ec/lube-source-handbook/automotive/introduction/used-oil-analysis>
- Ponce Torres , E., & Segundo Velasque, H. (2022). *Aplicación del aditivo Sika Dust Seal en la estabilización de suelos para vías no pavimentados en el tramo Antarumi - San Mateo, Tintay, Aymaraes-Apurimac* . Obtenido de UNAMBA, Abancay-Apurimac

- Pruma, P. (2020). Elaboración de la fibra de cabuya en tejido plano como matriz de refuerzo para la construcción de un retrovisor. *INGENIOS revista de ciencia y tecnologia* , 15.
- Ramos Fernandez , P. (2021). *Mejoramiento de suelo arcilloso nivel subrasante aplicando fibra de cabuya en Av. Cuzco-distrito Mi Perú - Callao 2020*. UCV, Lima-Perú.
- Resnik Jd Ph.D, D. (23 de 12 de 2024). *¿Que es la etica en la investigacion y por que es importante?* Obtenido de <https://www.niehs.nih.gov/research/resources/bioethics/whatis>
- Rivero Almanza , E. (2018). *"Proyecto de reutilización de aceites residuales de aceites residuales del parque automotor del cono sur, lima metropolitana, 2017*. Obtenido de UTP Perú-Lima
- Rodrigues Vilches , Y. (2020). *Diseño de planta de fibra de cabuya* . Peru.
- Sanapatin Jennely. (2025). *El uso de la cabuya y su utilizacion*. Ecuador. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/cabuya-95422699/95422699>
- Silvestre Miraya, I., & Huaman Nahula, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigacion y la redacion de la tesis universitaria*. Abancay : San Marcos E.I.R.L.
- Terzaghi. (1943). *MECANICA DE SUELOS en la ingenieria practica* . MEXICO : EL ATENEO S.A.
- Universidad de Costa Rica. (23 de 04 de 2023). *El 60 % de la red vial cantonal, la más extensa del país, se encuentra en estado de regular a muy malo*. Obtenido de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2023/4/23/el-60-de-la-red-vial-cantonal-la-mas-extensa-del-pais-se-encuentra-en-estado-de-regular-a-muy-malo.html>

Verde Sanchez, D., & Samanamud Diaz, A. (2024). *Estabilización de subrasante usando aceite vehicular reciclado y polvo de piedra en Camino Huamilancha, Sayan, 2023* .

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho-Perú.

/RV DQH[RV SDQHO IRWRJUiiLFR \ RWURV GRFXPHQWRV †
GLJLWDO LQVWLWXFLRQDO HQ OD %LEOLRWHF D &HQUUDC