



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA
ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA
SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO
TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**

TESIS PRESENTADA POR:
Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ
2026



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA
ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA
SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO
TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

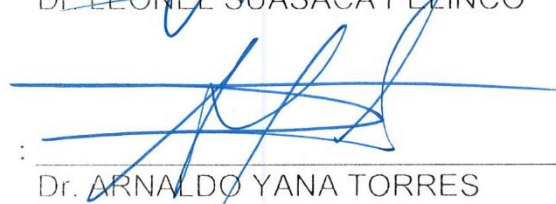
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

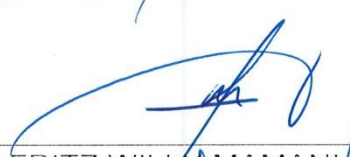
PRESIDENTE

: 
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

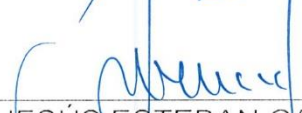
PRIMER MIEMBRO

: 
Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

: 
M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

**UNIVERSIDAD ANDINA**
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**RESOLUCIÓN DECANAL N° 0050-2026-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 15 de enero del 2026

VISTO: El expediente N° 2026-CU-000189 presentado por el (la) Bachiller: **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la NOMINACIÓN DE JURADOS integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS de él (la) bachiller: **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Jueves 22 de enero del 2026
- * **HORA** : 08:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1467-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 05 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-10666 por el señor (a): **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO – N° 1034-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 151 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 151 - 2025 **aprobandolo** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1146-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 22 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-7285, presentado por el señor (a) **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 805-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 117-2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 117-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **RYDER JOYCE CONDORI ALFARO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo 2025
Interesado (a)



RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASA...

 Trabajos de tesis para ingreso a repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:596800401

Fecha de entrega

2 jun 2026, 9:28 GMT-5

Fecha de descarga

2 jun 2026, 10:02 GMT-5

Nombre del archivo

T036_74213642_T.docx

Tamaño del archivo

26.3 MB

142 páginas

20.826 palabras

108.493 caracteres



TESIS UANCV

20% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 18%  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.

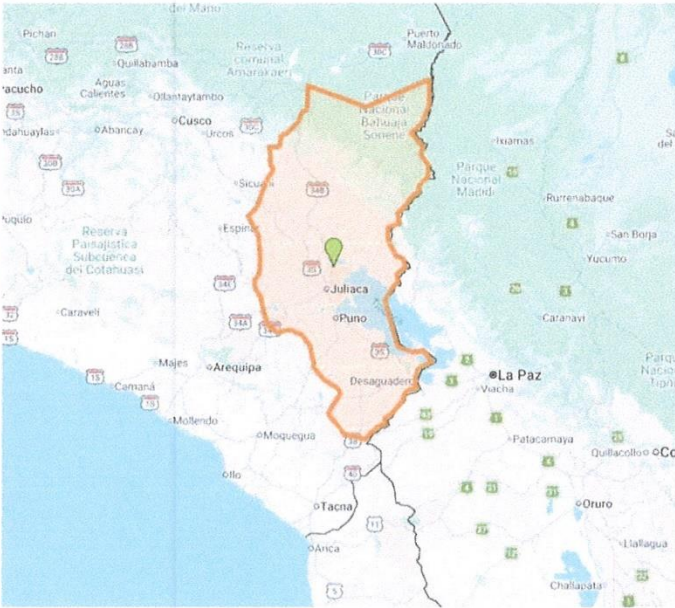


Metadatos Complementarios UANCV



Título de la tesis	
INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	RYDER JOYCE CONDORI ALFARO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74213642
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-5444-9734
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659



Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la construcción – P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno - Latitud: S 70° 01' 18'' - Longitud: O 15° 50' 15''  https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1vrXHqIlg4_2JRIUgnMlgFHvFIPPV68y4&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Septiembre 2025 – Enero 2026
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03
https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO "NÉSTOR CERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS FÍSICAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo RYDER JOYCE CONDORI ALFARO, identificado con DNI
Nro. 74213642, en mi condición de egresado de:

☒ **Escuela Profesional**

☐ **Programa de Segunda Especialidad,**

☐ **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la ☒ **Tesis** o ☐ **Trabajo de Investigación**, ☐ **Trabajo Académico**
denominada:
INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL
DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

Asesorado por: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 28 de ABRIL del 2026


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

"Expreso mi más profundo reconocimiento a mis hijos Yaritza Yanina y Fritz Kennedy, y a mi querida familia en general, cimiento fundamental de mi vida y principal motor de este proyecto. Su respaldo incondicional, amor y constante sacrificio han sido la fuerza necesaria para culminar esta etapa profesional.

A mis docentes y asesores, agradezco sinceramente la generosidad con la que compartieron sus conocimientos y experiencia. Sus orientaciones críticas y su guía académica fueron esenciales para el rigor científico de este trabajo.

Finalmente, a mis compañeros y amigos, agradezco su invaluable compañía en este camino de desafíos compartidos. La amistad brindada y las jornadas de aprendizaje mutuo hicieron de este proceso una experiencia enriquecedora y trascendental."



AGRADECIMIENTO

A mis padres, Porfirio Condori Coaquira y Maritza S. Alfaro Marca, y así mismo para mi esposa Yesi L. Aruata Condori y mis hermanas Saida D. Condori Alfaro, Liz S. Condori Alfaro, quienes con su ejemplo de perseverancia y entrega constante han sido los pilares fundamentales de mi formación. Gracias por su apoyo incondicional en cada etapa de este proceso y por creer en mis metas incluso antes que yo mismo. Este logro profesional es, en esencia, el fruto de sus sacrificios.

.



CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
CONTENIDO GENERAL.....	iii
CONTENIDO DE TABLAS	vii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Justificación e importancia de la investigación	18
1.3.1. Justificación técnica.....	18
1.3.2. Justificación económica.....	19
1.3.3. Justificación social	19
1.3.4. Justificación ambiental.....	19



1.4. Objetivos.....	19
1.4.1. Objetivo general:.....	19
1.4.2. Objetivos específicos:	20
1.5. Hipótesis	20
1.5.1. Hipótesis general:	20
1.5.2. Hipótesis específicas:	20
1.6. Variables e indicadores	21
1.6.1. Operacionalización de variables	21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. internacionales.....	22
2.1.2. Nacionales	26
2.1.3. Locales	29
2.2. Marco teórico	30
2.2.1. Clasificación de carreteras por demanda	30
2.2.2. Sistema Vial del Perú	33
2.2.3. Carreteras no pavimentadas.....	35
2.2.4. Suelo	37
2.2.5. Estabilización de Suelos	43



2.2.6. Definición de la subrasante.....	59
2.2.7. Descripción de los suelos	61
2.2.8. Aceite de motor reciclado	67
2.3. Marco conceptual	74

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	77
3.2. Nivel de investigación	77
3.3. Diseño de investigación	78
3.4. Enfoque de la investigación	78
3.5. Población y muestra	79
3.5.1. Población	79
3.5.2. Muestra.....	79
3.6. Métodos e instrumentos recolección de datos	79
3.6.1. Técnica	79
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos	80
3.7. Procedimiento	80
3.8. Trabajos previos	81
3.8.1. Trabajos de campo	81
3.8.2. Aceite residual de motor diésel.....	81



3.8.3. Trabajos de laboratorio	82
--------------------------------------	----

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Análisis de la información	95
4.1.1. Resultados de los ensayos	95
4.1.2. Resultados de los ensayos con diferentes dosificaciones de aceite de motor reciclado	104
4.1.3. Comparación de los resultados	107
4.2. Discusión de resultados	110
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXOS	119



CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	21
Tabla 2 Sistema nacional de carreteras (SINAC), (2023)	35
Tabla 3 Espesores recomendados para la sustitución de suelos	52
Tabla 4 Rango de cemento requerido para la estabilización de suelo	57
Tabla 5 Categorías de la subrasante	60
Tabla 6 Clasificación de suelos según tamaño de partículas	61
Tabla 7 Clasificación de suelos según Índice de plasticidad	63
Tabla 8 Clasificación de suelos según Índice de Grupo	64
Tabla 9 Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS	65
Tabla 10 Especificaciones para la prueba Proctor Modificado (ASTM D-1557)	66
Tabla 11 Usos de materiales de acuerdo al CBR	67
Tabla 12 Aceite de motor reciclado	71
Tabla 13 Fases de contaminantes permitidos en los aceites usados.	72
Tabla 14 Estándares de calidad Ambiental para suelos Inorgánicos.....	73
Tabla 15 Instrumentos utilizados para la investigación.....	80
Tabla 16 Resumen del contenido de humedad	95
Tabla 17 Análisis granulométrico del suelo natural.....	96
Tabla 18 Distribución de partículas del suelo natural	97
Tabla 19 Características plásticas del suelo natural.....	98



Tabla 20 Características del suelo natural.....	99
Tabla 21 Resumen del resultado de la clasificación de suelos SUCS Y ASTHO	100
Tabla 22 Resultados de Proctor modificado con diferentes porcentajes de agua	101
Tabla 23 Resumen de datos obtenidos de CBR.....	103
Tabla 24 Resultados de la expansión.....	103
Tabla 25 Resultados de Proctor modificado con diferentes porcentajes aceite de motor reciclado.....	104
Tabla 26 Resumen de datos obtenidos de CBR con aceite de motor reciclado..	106
Tabla 27 Resultados de la expansión.....	107
Tabla 28 Con respecto al ensayo de Proctor modificado	107
Tabla 29 Comparativa de Humedad óptima (%).....	108
Tabla 30 Comparativa de CBR.....	109
Tabla 31 Comparativa de resultados de expansión.....	110
Tabla 32 Comparación de resultados con un antecedente internacional	111



CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Elementos principales del camino vecinal	33
Figura 2 Sistema vial	34
Figura 3 Sección de una carreta no pavimentada	36
Figura 4 Perfil de calicatas – clasificación SUCS	38
Figura 5 Clasificación según AASHTO M 145	39
Figura 6 Perfil de un suelo cohesivo	40
Figura 7 Perfil de un suelo no cohesivo	41
Figura 8 Suelo arcilloso	42
Figura 9 Suelo limoso	43
Figura 10 Algunos tipos de estabilización de suelos	44
Figura 11 Proceso de identificación del tipo de suelo	47
Figura 12 Proceso de estabilización del suelo	49
Figura 13 Proceso de estabilización en un suelo con maquinaria	50
Figura 14 Estabilización de suelos con cal	56
Figura 15 Estabilización de suelos con cemento	57
Figura 16 Ubicación de calicata para la extracción de muestra	81
Figura 17 Adquisición del aceite residual de motor	82
Figura 18 Secado de la muestra	83
Figura 19 Tamizado manual	85



Figura 20 Porción de la pasta en la copa Casagrande.....	87
Figura 21 Enrollado de la muestra y secado de las barritas cilíndricas	88
Figura 22 Compactación del material	91
Figura 23 Inmersión y control de hinchamiento de las muestras.....	93
Figura 24 Ensayo de penetración y toma de lectura	94
Figura 25 Curva granulométrica del suelo natural	97
Figura 26 Carta de plasticidad de Casagrande	99
Figura 27 Método de clasificación AASHTO	100
Figura 28 Grafica de la curva de compactación, máxima densidad seca y optimo contenido de humedad del suelo natural.....	102
Figura 29 Grafica de la curva de compactación, máxima densidad seca y optimo contenido de humedad del suelo natural con aceite de motor reciclado	105
Figura 30 Comparativa de máxima densidad seca	107
Figura 31 Comportamiento de Humedad Óptima % aceite reciclado vs agua....	108



RESUMEN

En esta investigación titulada: "INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025", evaluó la alternativa de aprovechar el aceite usado de motor sin pre tratamiento para la estabilización de la subrasante en suelos cohesivos. Buscando dar solución al problema de estabilización de la subrasante con aceites lubricante reciclados en carreteras de bajo volumen de tránsito y aplicando una metodología: tipo aplicativa, nivel explicativo, diseño cuasiexperimental se encontró los resultados siguientes: la incorporación del 2% de AMR tiene un valor de DSM de 1.803 gr/cm³, HO de 10.16% y del 4% de AMR tiene un valor de DSM de 1.861 gr/cm³, HO de 11.86%; del 6% de AMR tiene un valor de DSM de 1.891 gr/cm³, HO de 15.70%; y del 8% de AMR tiene un valor de DSM de 1.897 gr/cm³, HO de 15.40%, los resultados fueron favorables para poder estabilizar la sub rasante de un suelo, que fueron los siguientes datos: fue de 8.55% para un 95% del CBR, con la adición de AMR. Se concluye, que la adición del aceite lubricante reciclado debe ser entre 2% a 6%, siendo esta ultima la cantidad optima, representando un incremento, respecto a estado natural del suelo, por tratarse de vías de bajo volumen de tránsito.

Palabras claves: Estabilización, aceites de motor, densidad máxima, Proctor modificado, CBR, subrasante.



ABSTRACT

In this research entitled: "INFLUENCE OF RECYCLED MOTOR OIL TO STABILIZE COHESIVE SOILS AT THE SUB-BASE LEVEL ON LOW-TRAFFIC ROADS IN THE PUNO REGION, 2025," the alternative of using untreated used motor oil for subgrade stabilization in cohesive soils was evaluated. Seeking to solve the problem of subgrade stabilization with recycled lubricating oils on low-traffic roads and applying a methodology: applicative type, explanatory level, quasi-experimental design, the following results were found: the incorporation of 2% AMR has a DSM value of 1.803 g/cm³, HO of 10.16%, and 4% AMR has a DSM value of 1,861 g/cm³, HO of 11.86%; 6% AMR has a DSM value of 1,891 g/cm³, HO of 15.70%; and 8% AMR has a DSM value of 1,897 g/cm³, HO of 15.40%. The results were favorable for stabilizing the subgrade of a soil, which were as follows: it was 8.55% for 95% of the CBR, with the addition of AMR. It is concluded that the addition of recycled lubricating oil should be between 2% and 6%, the latter being the optimal amount, representing an increase over the natural state of the soil, as these are low-traffic roads.

Keywords: Stabilization, motor oils, maximum density, modified Proctor, CBR, subgrade.



INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más frecuentes en las carreteras sin asfaltar de nuestro país en la actualidad es la inestabilidad del suelo. Los cambios en los patrones climáticos son los principales responsables del rápido deterioro de las carreteras sin asfaltar, causado por la erosión hídrica durante la estación húmeda y por las enormes cantidades de partículas de tierra que los coches lanzan al aire durante la estación seca.

Los problemas de contaminación han surgido como consecuencia de la proliferación de automóviles en muchas zonas urbanas. No existen leyes de saneamiento que garanticen la correcta eliminación de los residuos generados cuando los coches se someten a cambios de aceite periódicos en el motor y la caja de cambios.

El objetivo de este estudio era encontrar una solución al problema de la eliminación inadecuada del aceite lubricante usado para motores, mediante la investigación de un nuevo método de estabilización que utiliza materiales reciclados. El aceite lubricante usado para motores es un residuo líquido peligroso que plantea graves riesgos para la salud y el medio ambiente debido a los metales pesados que contiene. A continuación, se ofrece un resumen detallado de los cuatro capítulos que componen la investigación:

En capítulo I, exponemos el problema general, los objetivos del estudio, las preguntas de investigación, el diseño de la investigación, las variables de investigación, la población y la muestra del estudio, los métodos y herramientas



utilizados para recopilar datos y, por último, explicamos por qué este estudio es importante y cómo se demostrará.

En el capítulo II se analiza el contexto histórico de las técnicas relacionadas con la estabilización de suelos de base de baja capacidad portante, tanto a nivel nacional como internacional. El Ministerio de Transporte y Comunicaciones regula algunas de estas técnicas. La base, la estabilización de suelos y los aceites reciclados son algunos de los temas importantes relacionados con la investigación que se tratan en la parte teórica. Además, este capítulo ofrece una síntesis teórica de.

El capítulo III recoge una sinopsis del lugar de investigación, las actividades de campo y de laboratorio, y los objetivos expuestos en el primer capítulo. Utilizamos el ensayo CBR (California Bearing Ratio — MTC E 132-2000) para determinar cuál era la cantidad óptima de aceite lubricante reciclado, y este capítulo resume todos los experimentos que se llevaron a cabo para determinar dicha cantidad. Pudimos evaluar y analizar los resultados del estudio gracias a las tablas que se elaboraron.

Y el capítulo IV: Este capítulo cierra el círculo de la investigación. Aquí transformamos los datos en resultados concretos, analizamos su significado en la discusión y sintetizamos los aprendizajes finales en las conclusiones. Para terminar, abrimos nuevas puertas mediante recomendaciones diseñadas para quienes deseen continuar explorando los horizontes de este tema.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática

Es un hecho ampliamente reconocido que las carreteras desempeñan un papel crucial en el desarrollo económico y social de una comunidad. Por consiguiente, las carreteras deben planificarse y analizarse para satisfacer las necesidades de la población, y deben someterse a un mantenimiento periódico para evitar su deterioro.

Dado que soportan toda la estructura del pavimento (la carga muerta del mismo) y están sometidas a las cargas del tráfico, las capas de base de una carretera a menudo no se estabilizan lo suficiente durante el proceso de pavimentación. La superficie asfáltica es vulnerable al fallo de la capa de cimentación del pavimento, lo que la deja inservible y conlleva gastos de reparación exorbitantes.

Los suelos de baja calidad son una pesadilla para la ingeniería debido a su escasa capacidad portante, su elevado potencial de contracción y expansión,



y su extrema sensibilidad a la humedad. Es posible modificar las propiedades de estos suelos o sustituirlos por otros que presenten características técnicas adecuadas. Dado que no resulta rentable sustituir el material de cimentación por suelo de alta calidad, una técnica habitual consiste en estabilizar este tipo de suelo mediante el uso de diversos aditivos. [Kumar y Mittal, 2019] escriben.

El diseño de pavimentos se está volviendo más complejo debido a la demanda cada vez mayor de automóviles en las carreteras, lo que a su vez requiere mejoras en la subbase que soporta el pavimento. Para solucionar esto, se puede recurrir a una de las diversas técnicas de estabilización de suelos que ya existen en el mercado para mejorar la subbase (Del Pino y Piusseaut).

El fallo de las capas del pavimento o de la subbase debido a una estabilización inadecuada del suelo, o la estabilización inadecuada de una carretera sin pavimentar, puede hacer que la carretera quede inutilizable y dar lugar a costosos gastos de reconstrucción (Modarres y Nosoudy).

Debido a sus propiedades, los aceites industriales y los utilizados por los vehículos de transporte constituyen un potente contaminante para el planeta. Dada su elevada demanda, es imperativo encontrar formas de aplicar o reutilizar estos aceites, ya que la contaminación ambiental es un problema actual que afecta a todos los países del mundo.

Se están llevando a cabo numerosas investigaciones para resolver el problema de la estabilización de las carreteras sin asfaltar, ya que actualmente resulta difícil estabilizar las carreteras al menor coste posible (Flores y Zea).

Los suelos cohesivos son una gran preocupación en la actualidad en Estados Unidos, y Galvez y Santoyo hablan de ello. Esto es válido tanto para la



construcción residencial como para la pavimentación de carreteras asfaltadas y sin pavimentar. Es necesario estabilizar estos suelos antes de poder realizar cualquier trabajo en ellos, ya que no cumplen las propiedades requeridas para ningún diseño.

Cada día, en la ciudad de Juliaca, en la región de Puno, cada taller de reparación y mantenimiento de automóviles genera entre diez y veinte litros de aceite usado. Dada la gran cantidad de talleres que hay en la región, la cantidad de aceite generada es considerable (Huaquisto, 2015).

Dada la naturaleza del problema en cuestión, este estudio se propuso ofrecer una solución. Concretamente, se sugirió utilizar aceite reciclado para reforzar el suelo cohesivo de la capa de subbase de la carretera de Jaquencachi, El Collao llave, región de Puno, en 2025. El objetivo era mejorar las cualidades mecánicas del suelo.

Se requieren instalaciones específicas para el almacenamiento y el tratamiento del aceite usado a fin de garantizar un tratamiento medioambiental adecuado de este aceite y reducir su impacto en el medio ambiente, ya que los centros de lubricación no cuentan con la capacidad suficiente para este fin.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye el aceite de motor reciclado para estabilizar suelos cohesivos a nivel de la subrasante en carreteras con poco tráfico en la región de Puno, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo son las propiedades físicas y mecánicas del suelo cohesivo de la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao Ilave, Región Puno?
- ¿De qué manera influye el aceite de motor reciclado en densidad seca y contenido de humedad de la subrasante en la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao Ilave, Región Puno?
- ¿De qué manera influye el aceite de motor reciclado en el CBR de la subrasante en la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao Ilave, Región Puno?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

Los resultados de la investigación respaldan la justificación de este estudio, cuyo objetivo es aplicar conceptos de mejora del suelo a materiales que ya poseen propiedades beneficiosas para la mejora de las carreteras, como la compactación y la resistencia, con el fin de comprender mejor cómo se comporta la subbase cuando se le añade aceite de motor usado. Para que las carreteras duren el mayor tiempo posible y se mantengan en las mejores condiciones posibles, es fundamental que las técnicas de estabilización, como el reciclaje de neumáticos usados, no dañen el medio ambiente y sean económicas.

1.3.1. Justificación técnica

El objetivo de esta investigación es mejorar las propiedades de la capa de base mediante la incorporación de aceite de motor reciclado. Para ello, seguiremos los principios y aplicaremos las ideas y técnicas indicadas en el



Manual de Carreteras para la estabilización de capas de base con materiales específicos.

1.3.2. Justificación económica

Muchas actividades sociales y comerciales se ven favorecidas por la construcción de nuevas carreteras y su mantenimiento periódico. Si se mejorara la carretera de Jaquencachi, podrían aumentar los flujos comerciales gracias a la mayor eficiencia con la que se podrían distribuir los productos locales.

1.3.3. Justificación social

Los habitantes de la carretera que lleva a Jaquencachi, que pasa cerca del lugar de investigación, desean fervientemente que esta vía de transporte se mantenga en las mejores condiciones posibles, con la máxima calidad y capaz de aguantar durante toda su vida útil prevista. Esto es especialmente importante para el transporte eficiente de los productos agrícolas. Al facilitarse y optimizarse las actividades cotidianas de la gente, mejorará la calidad de vida de todos.

1.3.4. Justificación ambiental

Dado que el aceite de motor reciclado suele desecharse sin aprovecharse, esta investigación propone añadirlo al suelo como enmienda para ayudar a reducir la contaminación generada por esta sustancia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general:

Analizar la influencia del aceite de motor reciclado para estabilizar suelos cohesivos a nivel de la subrasante en carreteras con poco tráfico en la región de Puno, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo cohesivo de la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno.
- Analizar la influencia del aceite de motor reciclado en densidad seca y contenido de humedad de la subrasante en la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno.
- Analizar la influencia del aceite de motor reciclado en el CBR de la subrasante en la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general:

La adición de aceite de motor reciclado influye significativamente en la estabilización de los suelos cohesivos, mejorando la capacidad de soporte (CBR) y reduciendo la plasticidad de la subrasante en las carreteras de bajo tráfico en la región de Puno, 2025.

1.5.2. Hipótesis específicas:

- El suelo cohesivo de la subrasante en la carretera del Centro Poblado Jaquencachi presenta bajas propiedades físicas y mecánicas.
- La incorporación de aceite de motor reciclado actúa como un agente lubricante que incrementa la Máxima Densidad Seca y reduce el Óptimo Contenido de Humedad del suelo de la subrasante en la carretera Jaquencachi.

- La adición de aceite de motor reciclado aumenta significativamente el valor del CBR de la subrasante en la carretera Jaquencachi, al actuar como un agente estabilizador e impermeabilizante del suelo cohesivo.

1.6. Variables e indicadores

Variable independiente: Aceite de motor reciclado

Indicador:

- Viscosidad
- Densidad
- Porcentaje

Variable dependiente: Estabilización de la subrasante

Indicador:

- Densidad seca y contenido de humedad
- CBR.

1.6.1. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Aceite de motor reciclado (VI)	Dosificación	2%, 4%, 6% y 8%	Razón
Estabilización de la subrasante (VD)	Propiedades físicas y mecánicas	-MDS y OH -CBR.	Razón



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. internacionales

(Cárdenas Villamizar, 2017), En su tesis de maestría en Ingeniería Ambiental, titulada "Evaluación de la resistencia mecánica de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con aceites lubricantes usados" , el autor se propuso analizar el desempeño mecánico de mezclas asfálticas en caliente mediante la incorporación de aceites residuales de motor. El estudio utilizó el ensayo Marshall como herramienta principal de evaluación en laboratorio. Metodología bajo un enfoque de investigación aplicado y el uso del método científico, la experimentación se dividió en dos fases: Caracterización Reológica: Se crearon curvas para nueve variantes de asfalto modificado, con concentraciones de aceite usado que oscilaron entre el 0% y el 6% del peso total. El control de viscosidad se rigió por la normativa INV E-714-07. Pruebas de Resistencia: Se aplicó el método Marshall a mezclas con contenidos específicos



(0%, 1.5%, 2%, 2.5% y 6%) para determinar el límite máximo de aditivo que permite cumplir con los estándares de INVIAAS para concretos asfálticos de gradación continua. Los hallazgos demostraron que la adición de aceite lubricante reduce significativamente las temperaturas de mezcla y compactación. Este fenómeno permite clasificar estas soluciones como "mezclas tibias", lo que conlleva ventajas competitivas como el ahorro de energía en la producción y una mayor ventana de tiempo para el transporte del material a zonas alejadas. Finalmente, el autor subraya la necesidad de realizar estudios de campo para monitorear la durabilidad de estas mezclas frente al envejecimiento a largo plazo.

El objetivo principal de la tesis de Moncayo (2018) fue investigar el impacto de la UMO en la resistencia al corte y la resistencia a la compresión (CBR) de los suelos finos de tipo MH en la ciudad de Cali. Para obtener la muestra se utilizó suelo de la zona del Valle de Lili, al sur de Santiago de Cali. Los resultados mostraron que la incorporación de un 0 % de UMO da lugar a un valor de DSM de 1,51 g/cm³, un contenido de agua (HO) del 25,00 % y un CBR del 4,70 %; el 4 % de UEO dio lugar a un valor de DSM de 1,53 g/cm³, un HO del 22,50 % y un CBR del 3,00 %; el 8 % de UEO dio lugar a un valor de DSM de 1,62 g/cm³, un HO del 20,90 % y un CBR del 3,45 %; Un 12 % de AMU tiene un valor de DSM de 1,64 g/cm³, un HO del 17,40 % y un CBR de 3,95 %; y un 16 % de AMU tiene un valor de DSM de 1,72 g/cm³, un HO del 13,40 % y un CBR de 7,10 %. Aunque es estupendo que añadir un 16 % de aceite mejore el DSM y reduzca el HO en comparación con el suelo sin tratar, no es una buena idea utilizarlo en la construcción, ya que el suelo no absorbe el aceite lo suficiente como para evitar la saturación.



Investigación exploratoria sobre el impacto del aceite de motor usado en suelos de subbase fina, fue el título del estudio realizado en 2020 por Del Castillo y Orobio. El estudio se propuso evaluar las características del suelo tras su enriquecimiento con aceite de motor usado, un residuo muy extendido en Colombia que puede contaminar zonas anteriormente no contaminadas y, a la larga, poner en peligro la salud de la población local. La metodología se basó en tres ensayos: una compactación modificada, una compresión y una permeabilidad según la curva de Taylor. Los pasos seguidos incluyeron la selección del suelo adecuado, la toma de muestras de zonas alteradas, la mezcla del suelo con aceite de motor usado (UMO), la medición del contenido de sólidos y, finalmente, la creación de una curva de distribución del tamaño de las partículas combinando la USCS con los límites de consistencia o límites de Atterberg. Estos son los resultados: en el experimento se utilizó el suelo que se emplea normalmente para construir carreteras —el suelo de la capa inferior—. Según la metodología SUCS, el suelo se caracterizó como limo extremadamente plástico. Los efectos del aceite de motor usado sobre las aguas subterráneas fueron objeto de una investigación científica. Se encontró aceite de motor usado en el suelo MH durante las pruebas geotécnicas preliminares. Los resultados dan credibilidad a la idea de que las preocupaciones geotécnicas adicionales, las propiedades únicas de los diferentes tipos de suelo cuando se exponen al UMO y los factores ecológicos deberían ocupar un lugar central en futuros estudios relacionados. Dado que las partículas de suelo investigadas tienen un recubrimiento viscoso no miscible, su capacidad para adherirse al suelo y mejorar la fluidez se ve disminuida. Las restricciones en la capacidad del suelo para retener líquidos y plásticos se hacen más evidentes al aumentar los valores



de la Unidad de Humedad de Atterberg (AMU). La densidad seca máxima se mantuvo constante para contenidos entre el 0 % y el 4 %, pero aumentó significativamente (hasta un 7 %) para valores de AMU superiores al 4 %. Con una AMU del 16 %, el nivel óptimo de humedad desciende bruscamente al aumentar el contenido de aceite y puede alcanzar el 60 %. Dado que el aceite de motor tiene un efecto lubricante y desplaza el agua necesaria para la compactación del suelo, las partículas del suelo pueden reorganizarse a bajas concentraciones de agua.

En el artículo Soil Stabilisation Using Oil Sludge (Estabilización del suelo mediante lodos de aceite), de Alarcón et al. (2020), se investigó la posibilidad de utilizar aceites lubricantes usados para mejorar la estabilidad y la resistencia de la subbase, al tiempo que se reducen las consecuencias ambientales negativas. La modernización y estandarización de la fijación de precios de los movimientos de tierra en Venezuela es el tema de una investigación académica en curso. Mediante la recogida y el análisis de muestras de lodos granulares, de subbase y oleosos, la investigación tenía como objetivo analizar las características mecánicas, químicas y físicas de los materiales con el fin de determinar su impacto ambiental. Posteriormente, se añadió lodo oleoso a los materiales granulares y de subbase en diferentes cantidades para que actuara como agente estabilizador. A continuación, cada mezcla fue sometida a estudios de caracterización. Por último, pero no por ello menos importante, se evaluó una investigación que estabilizó suelos de subbase utilizando estas mezclas. Estos son los resultados del análisis: se sugiere una lechada de aceite al 6 %, que debe dejarse curar durante 7 días, para estabilizar la subbase superficial. En

comparación con el suelo sin tratar, el módulo de elasticidad del material granular es un 40 % mayor. Los datos obtenidos de los ensayos de módulo de elasticidad y CBR, así como las condiciones de los ensayos de las muestras, demuestran claramente la necesidad de un curado adecuado de las mezclas para aumentar la resistencia a largo plazo. Al hacer que la subbase sea más impermeable y menos susceptible al daño causado por el agua, la lechada de aceite mejora su estado. De este modo, se conservan las cualidades de resistencia de la subbase y se mejora su resistencia al agua a medida que se satura. La estabilización del material granular y la subbase con lechada de aceite produjo resultados satisfactorios para su uso en carreteras. Sin embargo, antes de incorporar las mezclas estabilizadas a una estructura de pavimento, se recomienda construir tramos de ensayo instrumentados para observar y confirmar su comportamiento.

2.1.2. Nacionales

Con el fin de encontrar un uso para el aceite de motor usado, Cabrejos y Murga (2021) investigaron la posibilidad de estabilizar el firme de las carreteras con este material. Dado que la investigación se llevó a cabo en condiciones controladas de laboratorio, se utilizó una técnica experimental. Esto es lo que mostraron los resultados, obtenidos a partir de la muestra recogida en las canteras de Víbora y Guadalupe, en los distritos de Chimbote y Guadalupe: la gradación de tipo B es consistente con las curvas granulométricas obtenidas de ambas canteras. Al 100 % de la densidad seca máxima (MDD) con una penetración de 0,1", el suelo natural de la cantera de Víbora presenta una densidad seca máxima de 2,17 g/cm³ y un CBR de 48,04, mientras que la cantera de Guadalupe alcanza los 2,25 g/cm³ y un CBR de 86,67. La densidad seca es



de 2,23 g/cm³, 2,29 g/cm³ y 2,25 g/cm³ en la cantera de Víbora, y de 2,30 g/cm³, 2,36 g/cm³ y 2,31 g/cm³ en la cantera de Guadalupito, respectivamente, cuando se añaden residuos de lubricante del vehículo al 1,5 %, 3,0 % y 4,5 %. La cantera de Víbora tiene un CBR de 66,31, 87,45 y 68,69 al 100 % de M.D.S. con un 0,5 %, un 3,0 % y un 4,5 % de residuos de lubricante de vehículos, mientras que la cantera de Guadalupito tiene un CBR de 121,92, 156,42 y 120,82.

En su tesis titulada Estabilización de suelos de subbase cohesivos con aceite usado para la pavimentación de la avenida Santiago Geraldo, Juliaca, Puno, 2022, Huarsaya se propuso evaluar los efectos de incorporar aceite usado en la capa de subbase de suelos de alta cohesión con el fin de pavimentar carreteras. La tesis se presentó para la obtención del título de ingeniero civil. El OCH disminuye, mientras que el IP, el MDS y el CBR aumentan según los datos obtenidos con un 2,5 %, un 5 % y un 7 % de aceite usado. Según la tesis, añadir un 7,5 % produce los mejores resultados. Los valores más altos para el índice de plasticidad, el contenido óptimo de humedad, el MDS y el CBR al 95 % son 12,50 %, 8,01 %, 1,889 g/cm³ y 15,5 %, respectivamente.

El objetivo de la investigación de Huamán y Camacho (2022) era utilizar aceite usado de motores diésel para mejorar las propiedades mecánicas de la subbase de un pavimento, y se propusieron determinar cómo afectaba el aceite de motor diésel reciclado a las cualidades mecánicas de la subbase. Según los resultados de los ensayos del estudio, la adición de aceite en diversas proporciones (2 %, 4 %, 8 %, 12 %) reduce el LL, el IP y el contenido óptimo de humedad, al tiempo que aumenta el LP, el MDS y el CBR. Finalmente, se



constató que la estabilización del suelo tratado se logra mejor con un IP del 27,635 % y un CBR del 8,68 %, lo cual se consigue añadiendo un 8 % de aceite.

Sotomayor mencionó el año 2023. Estabilización de suelos cohesivos en la carretera local Talambo-La Morana utilizando residuos de aceite de motor procedentes de Chepén, La Libertad es el título del estudio, que adopta un enfoque pragmático en su metodología. El diseño experimental del estudio incluyó ensayos de caracterización para identificar el tipo de suelo, así como ensayos Proctor modificado y CBR para medir la capacidad de carga y la resistencia. Se evaluó la cohesión de muestras de suelo que contenían un 1,5 %, un 2,5 %, un 3,5 % y un 4,5 % de residuos de lubricante de motor. Las muestras de suelo cohesivo tomadas en diferentes ubicaciones indican que se trata de SC (arenas arcillosas) o SP-SM (arena de baja granulometría con limo y grava y sin limitaciones de consistencia), con contenidos de humedad que oscilan entre el 1 % y el 3 %. Según el MTC, el suelo de referencia debe estabilizarse, ya que los resultados de los ensayos Modified Proctor y CBR fueron del 6 %. Se obtuvieron los siguientes rangos al añadir diferentes concentraciones de residuos de aceite lubricante de motor: el 1,5 % produjo valores entre el 21,4 % y el 16,1 %, el 2,5 % entre el 14 % y el 31,7 %, el 3,5 % entre el 13,2 % y el 38,2 %, y el 4,5 % entre el 13,9 % y el 25,1 %. Se demostró que un aumento del 3,5 %, que mostró el mayor porcentaje de resistencia, proporcionaba los mejores resultados, lo que indica que añadir el aditivo es beneficioso.

2.1.3. Locales

El objetivo de la tesis de Jalanoca (2021), titulada Mejora de la capa de base mediante la incorporación de aceite usado de vehículos de motor en la carretera Platería-Perka, Puno 2021, era determinar el impacto del aceite usado en las características de la capa de base en concentraciones del 1,5 %, 2,5 %, 3,5 % y 4,5 %. Los resultados mostraron que el suelo natural se clasifica como grava mal clasificada con arcilla y arena (GP-GC); la densidad seca máxima del suelo natural es de 2,056 g/cm³; la adición de un 1,5 %, un 2,5 %, un 3,5 % y un 4,5 % de aceite usado dio como resultado densidades de 2,060 g/cm³, 2,077 g/cm³, 2,086 g/cm³ y 2,006 g/cm³; el contenido óptimo de humedad del suelo natural es del 8,64 %; la adición de un 1,5 %, un 2,5 %, un 3,5 % y un 4,5 % de aceite usado dio como resultado valores del 8,58 %, el 8,50 %, el 8,13 % y el 7,79 %; en cuanto al CBR natural al 95 % de la densidad seca máxima, el valor es del 27,60 %; la incorporación de un 1,5 %, un 2,5 %, un 3,5 % y un 4,5 % de aceite residual dio como resultado valores del 34,00 %, 54,40 %, 63,50 % y 49,90 %. Los resultados mostraron que con adiciones del 1,5 % y del 3,5 % de aceite residual, las características del suelo mejoraron en comparación con la muestra de control, mientras que con una adición del 4,5 %, la mayoría de los atributos se redujeron.

Para la pavimentación de la avenida Santiago Geraldo en Juliaca, Puno, en 2022, la investigación de Huarsaya Medina titulada Estabilización de suelos de subbase cohesivos con aceite usado para la pavimentación de la avenida Santiago Geraldo, Juliaca, Puno, 2022 tiene como objetivo evaluar las consecuencias del uso de aceite usado como parte del proceso de estabilización

del suelo. El método pertinente se utilizó en combinación con un diseño experimental. Llegamos a las siguientes conclusiones. Los suelos C-01, C-02 y C-03, de origen natural, presentan valores máximos de densidad seca de 1,586 g/cm³, 1,709 g/cm³ y 1,694 g/cm³, respectivamente. Estos se obtuvieron añadiendo un 2,5 % de aceite reciclado. Se obtienen densidades de 1,776, 1,781 y 1,694 g/cm³ cuando se aplica una concentración del 5 % al suelo. Los suelos cohesivos son capaces de retener más aceite usado en su densidad seca máxima de lo que sugiere su porcentaje efectivo. La incorporación de un 2,5 % de aceite usado al suelo da como resultado valores de CBR del 4,2 % para los suelos intrínsecos C-02, del 3,88 % para el C-03 y del 5,1 % para el C-01; correspondientemente, del 8 %, del 7,2 % y del 9,8 %. Con un 7,5 % de aceite usado, los porcentajes correspondientes son del 11,7 %, del 10,2 % y del 12,9 %.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Clasificación de carreteras por demanda

En 2018, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Gobierno peruano clasificó las carreteras del país por orden de demanda:

A. Autopistas de 1° clase

Este tipo de carretera se define por tener un tráfico diario de 6.000 vehículos o más, una separación de seis metros entre los carriles, dos o más carriles con una anchura mínima de tres metros y medio, puntos de entrada y salida diseñados para evitar atascos, ausencia de cruces y, en las ciudades, también puentes peatonales.

B. Autopistas de 2° clase

La anchura de la mediana de estas carreteras puede oscilar entre 6,00 m y 1,00 m, y se exige un sistema de contención de vehículos para las medianas de menos de 1,00 m, ya que estas carreteras están diseñadas para unos niveles de tráfico diario de entre 6.000 y 40.001 vehículos. Para mantener la fluidez del tráfico, las entradas y salidas deben contar con un control de acceso parcial; en las áreas metropolitanas se permiten cruces a nivel o intersecciones de vehículos y puentes peatonales; y cada calzada debe tener al menos dos carriles con una anchura mínima de 3,60 m. Estas carreteras deben pavimentarse de inmediato.

C. Carreteras de 1° clase

Con una anchura mínima de 3,60 metros para dos carriles, estas autopistas registran un flujo de tráfico diario de entre 4.001 y 2.001 vehículos. Si no es posible construir puentes peatonales, se deben instalar medidas de seguridad vial para controlar la velocidad del tráfico. Además, se deben mejorar los cruces y los pasos a nivel en las zonas densamente pobladas. Es necesario asfaltar estas carreteras.

D. Carreteras de 2° clase

Con un volumen de tráfico diario que oscila entre 2.000 y 40.000 vehículos, estas vías tienen una anchura mínima de 3,30 metros para dos carriles. En entornos urbanos son necesarios pasos elevados para peatones u otras medidas de seguridad vial que permitan circular a velocidades más seguras, además de cruces a nivel y pasos para vehículos. Estas vías deben tener una superficie pavimentada.



E. Carreteras de 3° clase

Estas carreteras, que tienen una anchura mínima de 3,00 m para dos carriles, registran menos de 400 vehículos al día. En algunas carreteras se puede alcanzar una anchura de carril de 2,50 m con el respaldo técnico adecuado. Los estabilizadores de suelo, las emulsiones asfálticas, el micropavimento y la grava son algunas de las opciones denominadas básicas o económicas que pueden utilizarse para pavimentar estas vías. Su pavimentación requiere que cumplan las normas geométricas para carreteras secundarias.

F. Trochas carrozables

Estas carreteras son transitables, pero no cumplen los criterios geométricos propios de una autopista debido a que su volumen medio diario de tráfico (VMD) es inferior a 200 vehículos al día. En las carreteras con una anchura mínima de 4,00 metros, deben construirse carriles de adelantamiento tramos ensanchados cada 500 metros. Pueden ser carreteras pavimentadas o sin pavimentar.

G. Camino vecinal

Esta carretera forma parte de la red de carreteras rurales o locales del Perú y su mantenimiento corre a cargo de la administración local del país. Estas vías, que conectan diferentes zonas y núcleos de población, incluyen zanjas, alcantarillas, badenes, zanjas con cubierta, muros de contención, puentes y puentes flotantes (Ministerio de Economía y Finanzas, 2011, p. 41). El pavimento suele estar compuesto por tierra natural o por superficies que han sido compactadas y estabilizadas para soportar un tráfico rodado ligero.

Figura 1

Elementos principales del camino vecinal



Nota: Directrices para la planificación y construcción de proyectos de infraestructura de transporte.

2.2.2. Sistema Vial del Perú

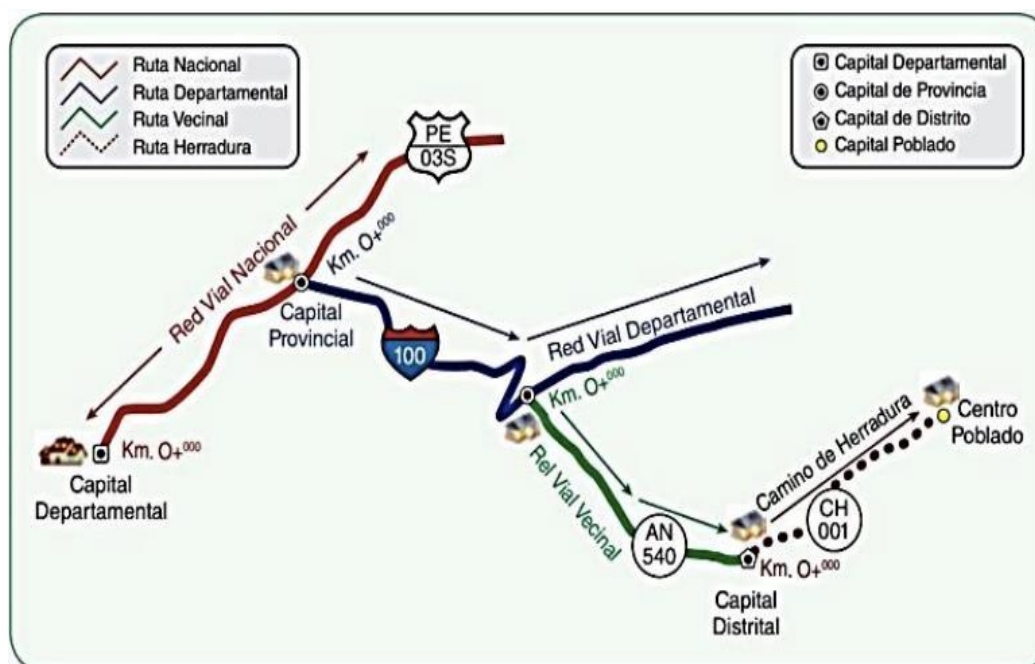
Las tres redes que conforman el sistema viario del Perú, conocido como SINAC, fueron establecidas mediante el Decreto Supremo n.º 017-2007-MTC, aprobado el 26 de mayo de 2007. Estas redes son las siguientes: la Red Viaria Nacional, la Red Viaria Departamental o Regional y la Red Viaria Local o Rural.

- a. Las redes y los servicios de transporte del país están bajo la supervisión del MTC, un organismo del Gobierno federal. Esto incluye la red nacional de carreteras.
- b. La red de carreteras dentro de un departamento: los gobiernos regionales se encargan de las redes y los servicios de transporte dentro de un departamento.

- c. Los niveles provincial, distrital y urbano de la infraestructura y los servicios de transporte son responsabilidad de los gobiernos locales, que incluyen a los municipios, así como la red de carreteras local. En la página 8 se indica que el MTC ayuda a los gobiernos regionales a supervisar los programas de ámbito nacional a través de Provias Descentralizado.

Figura 2

Sistema vial



Nota: (Segundo compendio de buenas prácticas en la gestión descentralizada de carreteras)

En la tabla siguiente se muestran los datos sobre la infraestructura viaria del SINAC a 31 de julio de 2023, desglosados por tipo de red:

Tabla 2

Sistema nacional de carreteras (SINAC), (2023)

	Nacional	Departamental	Vecinal	Total
	Km	Km	Km	Km
1. Carretera Existente	27,441.20	27,729.80	118,723.80	173,894.80
Pavimentada	22,692.70	5,858.10	3,340.20	31,890.90
Asfaltada	15,319.70	3,635.70	2,768.80	21,724.20
Asfaltada con solución básica	7,373.00	2,222.40	571.40	10,166.70
No pavimentada	4,748.60	21,871.70	115,383.60	142,003.90
Afirmada	2,868.90	13,486.90	30,952.60	47,308.50
Sin Afirmar	744.40	4,936.00	30,941.90	36,622.30
Trocha	1,135.20	3,448.70	53,489.10	58,073.10
2. Carretera proyectada	1,860.30	4,614.10	109.30	6,583.80
Total	29,301.60	32,343.90	118,833.10	180,478.60

Nota: Mapa de Infraestructura Vial del Compendio de Mapas – (MTC, 2023)

2.2.3. Carreteras no pavimentadas

Algunos ejemplos de caminos sin asfaltar son los senderos para caballos y los caminos que no han recibido ningún tipo de mantenimiento y que se crearon por la necesidad de acceder a lugares lejanos. Las superficies granulares, los tratamientos de la superficie y los trabajos preparatorios de alineación son otras características que pueden presentar estos caminos, junto con un sistema de drenaje eficaz, un perfil longitudinal y una sección transversal (Sosa, 2018).

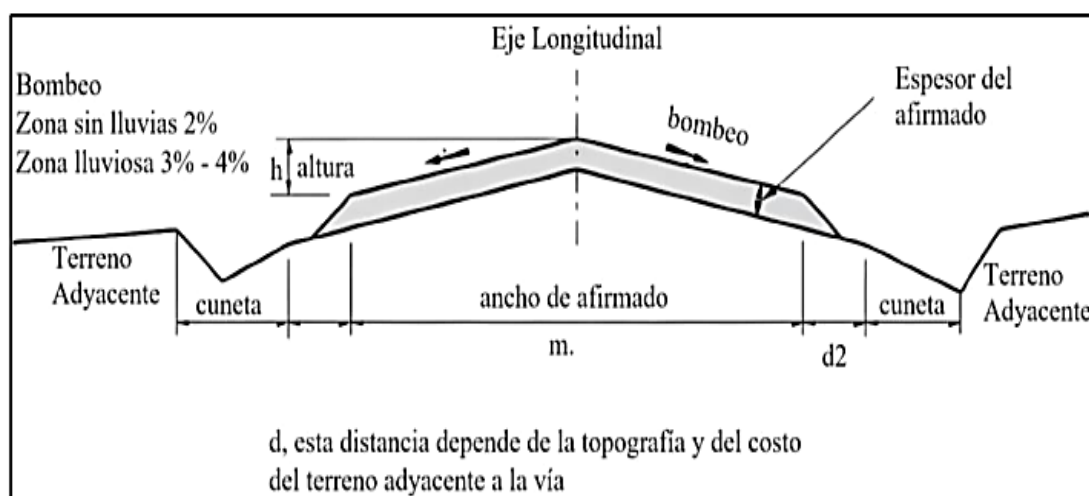
2.2.3.1. Elementos de las vías no pavimentadas

La capa de rodadura y los sistemas de drenaje son los componentes de una carretera sin asfaltar, tal y como afirma Meza (2020).

- **Capa de rodadura:** Esta capa permite que los vehículos circulen por la carretera, ya que soporta las cargas del tráfico y garantiza un drenaje adecuado (con una pendiente de entre el 2 % y el 3 %) (Meza, 2020).
- **Obras de drenaje:** Para evitar que el agua dañe la superficie y la estructura de la carretera, es necesario implementar medidas de drenaje. El sistema de drenaje incluye bombas viales, cunetas, zanjas de coronamiento, desagües y otros elementos (Meza, 2020).

Figura 3

Sección de una carretera no pavimentada



Nota: (Meza, 2020)

2.2.3.2. Clasificación de vías no pavimentadas

A continuación, se enumeran los tipos de carreteras que no cuentan con superficie pavimentada, según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología,

Geotecnia y Pavimentos (2014), publicado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones:

- **Caminos de grava (Lastrados):** La capa superior está formada por piedra natural que ha sido seleccionada a mano o cribada para garantizar que no supere los 75 mm de tamaño.
- **Caminos de tierra:** Los caminos de tierra están formados por tierra natural a la que se le ha añadido grava cuidadosamente seleccionada mediante cribado.
- **Caminos afirmados:** Las carreteras de grava se construyen mediante la superposición de capas de materiales de cantera que se tamizan de forma natural o manual para cumplir criterios de granulometría precisos. Estos materiales tienen un tamaño máximo de partícula de 25 mm e incluyen arena, piedra y áridos finos.
- El uso de productos industriales para estabilizar la superficie de las carreteras de grava: se han utilizado asfalto, cal, cemento, aditivos químicos y un sinnúmero de otros materiales para mejorar las carreteras sin asfaltar.

2.2.4. Suelo

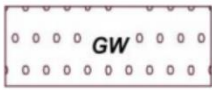
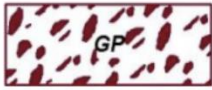
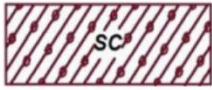
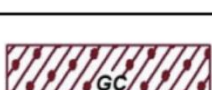
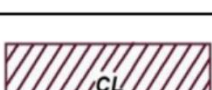
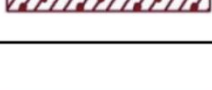
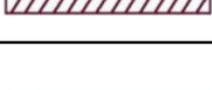
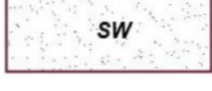
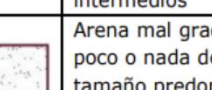
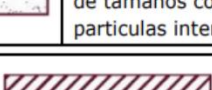
Es una capa delgada de material suelto y no consolidado que está presente en la superficie terrestre, se forma como resultado de la degradación y modificación física, biológica y química de las rocas. Este material puede asentarse o ser transportado y se ve influenciado por las actividades humanas (Ruiz, 2022).

2.2.4.1. Clasificación de suelos

Mediante el uso de un tamiz de malla 200, el método de clasificación SUCS distingue entre suelos finos y gruesos; las partículas de tamaño superior al de esta malla se consideran gruesas, mientras que las de tamaño inferior se consideran finas. Un suelo se considera fino o grueso cuando la mayor parte de sus partículas tienen un tamaño y un peso determinados (Juárez y Rico, 2005).

Figura 4

Perfil de calicatas – clasificación SUCS

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

Nota: MTC (2014)

Sin embargo, la técnica AASHTO M 145 determina el LL y el IP de una fracción que pasa por un tamiz n.º 40, además de los datos sobre la fracción que pasa por un tamiz n.º 200. El último paso consiste en clasificar la muestra de suelo según los criterios establecidos en la tabla (ASTM, 2015).

Figura 5

Clasificación según AASHTO M 145

Clasificación General ⁽¹⁾	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla N° 200)							Materiales Limo-Arcillosos (pasan más del 35% la malla N° 200)			
Clasificación por Grupos:	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A-7 ⁽²⁾
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
							A-7-6				
Análisis Granulométrico Porcentaje que pasa:											
Tamiz N° 10	50 máx										
N° 40	30 máx	50 máx	51 mín								
N° 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa la malla N° 40											
Límite Líquido:			No plástico	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de Plasticidad:	6 máx			10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuales de los materiales componentes importantes.	Fragmentos de Piedra, Grava y Arena.		Arena Fina	Arena y Gravas limosas o arcillosas.				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasific. Gral como Subrasante.	DE EXCELENTE A BUENA.					DE REGULAR A MALA.					

Nota (1): Procedimiento de Clasificación; Teniendo presente los datos de prueba necesario, procédase de izquierda a derecha en el cuadro; se encontrará el grupo correcto siguiendo un proceso de eliminación. El primer grupo de la izquierda que corresponda con los datos de la prueba es la clasificación correcta.

Nota (2): El grupo A-7 se subdivide en A-7-5 o A-7-6, según su plasticidad. Para $IP \leq LL-30$, la clasificación es A-7-5; para $IP > LL-30$, tenemos A-7-6.

$$\text{ÍNDICE DE GRUPO} = (F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(IP - 10) \quad ; \quad \text{Para los suelos: A-4; A-5; A-6 y A-7}$$

F = porcentaje del suelo que pasa por la malla N° 200, expresado como número entero.
LL = límite líquido (%).
IP = índice plástico (%).

- El índice de grupo siempre se reporta aproximándolo al número entero más cercano, a menos que su valor calculado sea negativo, en cuyo caso se reporta como cero.
- No hay límite superior para el índice de grupo.
- El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es cero ($IG=0$) El índice de grupo se agrega entre paréntesis a la clasificación de grupo y subgrupo. Ejemplo: un suelo arcilloso con $IG = 25$, puede clasificarse como A-7-6(25).
- Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, úsese el índice de grupo parcial para el IP, o sea:

$$\text{ÍNDICE DE GRUPO} = 0,01 (F - 15)(IP - 10)$$

Nota: MTC (2014)

2.2.4.2. Tipos de suelos

Las propiedades de los suelos permiten clasificarlos en varias categorías. Al ser transportadas por el agua, las partículas de roca sueltas de más de dos milímetros de diámetro se desgastan y adquieren una forma redondeada; esto es lo que se conoce como grava. Las partículas de la arena tienen un tamaño

que oscila entre 2 mm y 0,05 mm y están finamente divididas; pueden ser de origen natural, como resultado de la erosión de la roca, o haber sido reducidas artificialmente mediante trituración. A diferencia de las arcillas, estos materiales no plásticos conservan sus dimensiones originales incluso después del secado y son menos compresibles. Con tamaños de partícula que oscilan entre 0,05 mm y 0,005 mm, el limo es una sustancia de grano fino que es muy compresible y tiene baja permeabilidad. Por último, pero no menos importante, la arcilla está compuesta por partículas sólidas que, al combinarse con el agua, se vuelven plásticas (Crespo, 2004). Estas partículas tienen un tamaño inferior a 0,005 mm.

A. Suelos cohesivos

Tienen una alta compresibilidad y una baja permeabilidad, lo que dificulta el paso del agua a través de sus pequeños poros. Según Bañón y Beviá (2017), los suelos que contienen arcilla, limo y arena tienden a hundirse a medida que aumenta el contenido de humedad.

Figura 6

Perfil de un suelo cohesivo



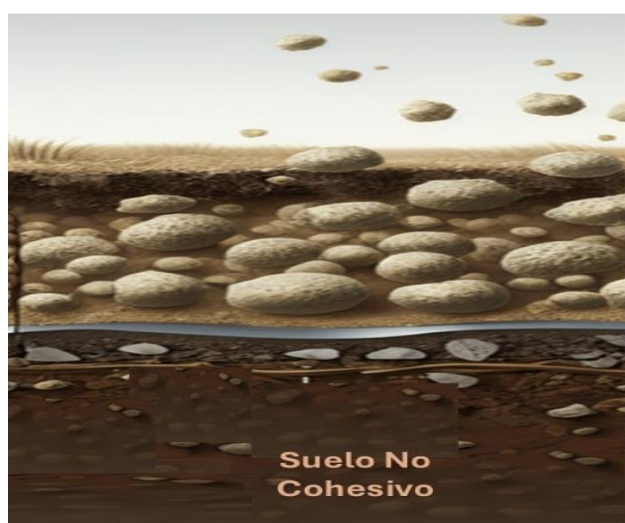
Nota: <https://pulse/diferencias-entre-suelos-cohesivos>

B. Suelos no cohesivos

Los materiales que no presentan una interacción intermolecular significativa se incluyen en este grupo. La arena y la grava son ejemplos de áridos formados por roca que no ha sido cementada (Crespo, 2004).

Figura 7

Perfil de un suelo no cohesivo



Nota: <https://pulse/diferencias-entre-suelos-cohesivos>

C. Suelos arcillosos

Los agregados de partículas minúsculas que se forman por la descomposición química de los componentes de la roca se conocen como arcillas. Las propiedades flexibles de este tipo de suelo se deben a su amplio rango de contenido de humedad. Además, las arcillas son bastante rígidas cuando se dejan en reposo (Terzagui et al., 1996). Otro aspecto a tener en cuenta con respecto a los suelos arcillosos es que pueden volverse inestables con el tiempo. Diversas propiedades, entre ellas la resistencia, la deformabilidad y la capacidad de hinchamiento, pueden verse alteradas en las arcillas como

resultado de cambios estructurales y composicionales provocados tanto por procesos naturales como por procesos inducidos por el ser humano (Gonzales et al., 2002).

Figura 8

Suelo arcilloso



Nota: <https://es-suelos-arcillosos>

D. Suelo limoso

En la mayoría de los casos, las partículas limosas son escasas, tienen una forma irregular y casi nunca presentan una superficie lisa o pulida. Son químicamente inertes debido a su diminuto tamaño y al hecho de que el cuarzo es su principal componente mineral. Las partículas de la fracción limosa están recubiertas por una fina capa de arcilla, lo que les confiere una flexibilidad, cohesión y capacidad de adsorción considerables. Pero esta capacidad palidece en comparación con la de la fracción de sedimentos arcillosos (Rucks et al. 2004).

Figura 9*Suelo limoso*

Nota: <https://es. /suelos-42782693/42782693>

2.2.5. Estabilización de Suelos

La estabilización del suelo consiste en mejorar su resistencia mecánica y garantizar que esas mejoras sean duraderas. Los métodos varían y pueden incluir la adición de más tierra o el uso de productos químicos estabilizadores. Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013), tras cualquier intervención de estabilización se lleva a cabo siempre un procedimiento de compactación.

2.2.5.1. Tipos de estabilización de suelos

El aumento de la capacidad portante de la subbase mediante la mejora de sus propiedades mecánicas y físicas se conoce como mejora del suelo mediante estabilización. Para llevar a cabo esta estabilización se utilizan diversos métodos, entre los que se incluyen los químicos, los físicos, los naturales y los sintéticos. Las subbases inadecuadas o de baja calidad suelen tratarse mediante estos métodos de estabilización. Para estos fines pueden utilizarse productos como el suelo-cemento y el suelo-asfalto. Las capas de

pavimento estabilizadas, a menudo conocidas como bases o subbases tratadas, mejoran ciertas cualidades. Es importante recordar que no solo entran en juego factores económicos, sino también el tipo de estabilización (no todos los estabilizadores mejoran las mismas características) (Pérez 2014).

El proceso de dotar al suelo de resistencia mecánica y garantizar que estas propiedades se mantengan a lo largo del tiempo es la definición de estabilización del suelo que figura en el Manual de Carreteras de 2014 del Ministerio de Transporte y Comunicaciones: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Añadir más tierra es una opción, mientras que los estabilizadores químicos son otra. Independientemente de la técnica utilizada, la compactación siempre sigue a la estabilización.

Figura 10

Algunos tipos de estabilización de suelos



Nota: Perez, 2012.

2.2.5.2. Estabilización del suelo: factores geotécnicos a tener en cuenta

Dado que la norma de este país en materia de estabilización de suelos para capas de base es el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014), se tienen en cuenta los siguientes factores extraídos de dicho manual:

Los materiales de la capa de base y los suelos deben tener un CBR del 6 % o superior para que su calidad sea satisfactoria. En circunstancias en las que el CBR es inferior al valor especificado, la subbase se considera inadecuada o insuficiente. Esto suele ocurrir en lugares con suelos blandos o con altos niveles de humedad. En tales casos, es necesario realizar estudios para evaluar si es necesaria la estabilización. El ingeniero del proyecto llevará a cabo estos estudios, analizando varias formas de estabilizar el suelo, mejorarlo o incluso sustituir la subbase. Si se opta por la estabilización del suelo, se dispone de las siguientes opciones: Si las alternativas consideradas resultan demasiado complicadas o costosas, puede ser necesario realinear la carretera o estabilizarla mecánicamente, sustituyendo el suelo de la subbase, utilizando productos químicos o aditivos que mejoren las propiedades del suelo, empleando geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), añadiendo capas de roca o arena, o elevando el nivel de la carretera.

Cuando hay agua en la subbase, las partículas del material arcilloso pueden ser absorbidas por las capas granulares (subbase o base) por acción capilar. Para evitarlo, debe instalarse un geotextil o una capa anticontaminación con un espesor mínimo de 10 cm. Según el Ministerio de Transporte y



Comunicaciones (2014), esto debe ir respaldado por un informe del ingeniero del proyecto.

El nivel de la subbase viene determinado por la profundidad del nivel freático y la calidad del suelo. Un suelo con buenas propiedades mecánicas requiere un nivel de subbase de 0,60 m por encima del nivel freático, mientras que los niveles de subbase de 0,80 m, 1,00 m y 1,20 m se consideran estándar, deficiente e inadecuado, respectivamente. La estructura del pavimento se protegerá mediante la instalación de drenajes subterráneos o capas anticontaminación, o bien evaluando la posibilidad de elevar el nivel de la plataforma, según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

Es esencial evaluar el impacto de las bajas temperaturas en el suelo a altitudes superiores a cuatro mil metros sobre el nivel del mar. El punto de congelación del suelo y el nivel del nivel freático son dos factores comunes que determinan cuándo se congela el agua subterránea. La congelación casi nunca alcanza la capa superior de la subbase si el nivel freático se encuentra a más de 1,20 m de profundidad. Por otro lado, es más probable que se produzca la congelación cuando el nivel freático se encuentra a una profundidad de 0,60 m, que es la capa superior de la subbase. En tal caso, se añadirá suficiente suelo para que tenga el espesor necesario para evitar la congelación, o se añadirá suficiente material de relleno granular para que el nivel cumpla los requisitos mínimos de calidad. Los suelos limosos suelen ser los que se congelan con facilidad. La distribución granulométrica del suelo se determina pasándolo por tamices. Se dice que un suelo es susceptible de congelarse si más del 3 % de su contenido pasa a través de un tamiz de 0,02 mm; sin embargo, las arenas

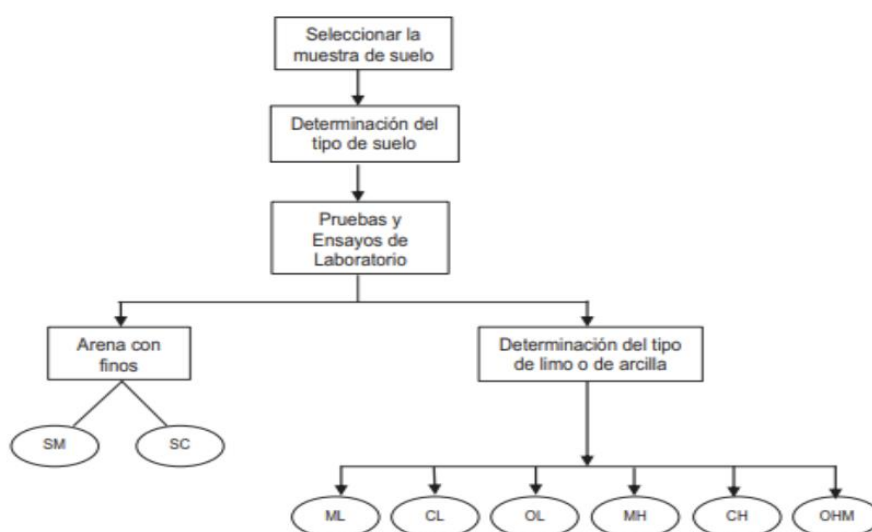
finas uniformes están exentas de esta regla, aunque más del 10 % de su contenido pase a través de ese tamiz; siguen sin ser susceptibles de congelarse. En pocas palabras, los suelos en los que no haya un porcentaje superior al 3 % que pase por un tamiz de 0,02 mm de diámetro no son propensos a congelarse. Como alternativa, se utilizará la sedimentación o la hidrometría para determinar la curva de distribución granulométrica de los suelos que contengan partículas de más de 0,074 mm, según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

Si quieres saber cómo estabilizar el suelo, debes conocer sus características mecánicas. Entre los suelos más propensos a la estabilización se encuentran las arcillas, los limos o las arenas con contenido de limo o arcilla (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

La figura 11 muestra el proceso de caracterización del suelo y la selección del tipo de estabilización.

Figura 11

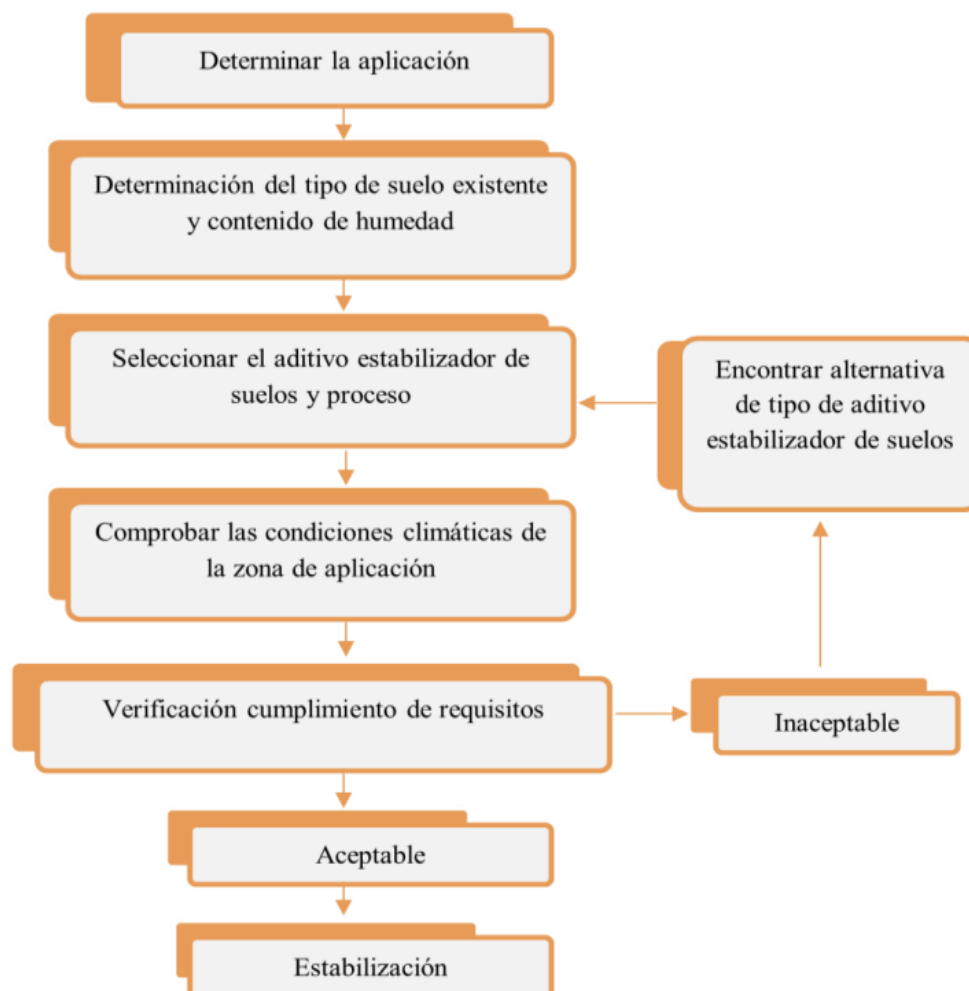
Proceso de identificación del tipo de suelo



De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) , el suelo debe ser "diagnosticado" antes de ser intervenido. Sus propiedades físicas y químicas son los factores determinantes que nos indican qué técnica de estabilización es la más adecuada. En otras palabras, las características propias del terreno dictan la solución técnica para asegurar su firmeza y durabilidad:

- Propiedades mecánicas y físicas relacionadas con la estabilización del suelo.
- Finalidad prevista de la estabilización del suelo.
- Tipo de aditivo o estabilizador del suelo.
- Historial demostrado de aplicaciones exitosas del estabilizador especificado en subbases que presenten propiedades mecánicas y físicas comparables. Debe existir un ingrediente estabilizador disponible en el mercado.
- Las herramientas necesarias para la estabilización del suelo deben ser fácilmente accesibles.
- Evaluación de las ventajas y desventajas de las posibles soluciones mediante un análisis económico.

La norma MTC (2014) propone un diagrama de flujo para elegir un agente estabilizador, tal y como se muestra en la figura 12.

Figura 12*Proceso de estabilización del suelo*

Nota: Manual de Carreteras 2014

2.2.5.3. Estabilización mecánica de los suelos

Si este es el caso, la estabilización puede mejorar las propiedades físicas del suelo sin alterar su composición ni su estructura fundamentales. Un método mecánico habitual para estabilizar este tipo de suelo es la compactación, que consiste en reducir la cantidad de huecos en el suelo. La figura 13 muestra cómo se emplea esta técnica en la construcción de carreteras con un rodillo.

Figura 13

Proceso de estabilización en un suelo con maquinaria



Nota: Google Imágenes

2.2.5.4. Estabilización por combinación de suelos

En este punto, el suelo original se mezclará con material de relleno de alta calidad para lograr su estabilización. El suelo actual se excavará o se escarificará hasta una profundidad de unos quince centímetros antes de añadir el material de relleno. Las muestras se humedecerán hasta alcanzar el porcentaje ideal de compactación, y se eliminarán las partículas de más de 75 milímetros. A continuación, los suelos se mezclarán, nivelarán y compactarán hasta alcanzar el nivel de subbase que requiere el proyecto, respetando en todo momento los requisitos de densidad y espesor. El estudio del suelo determinará la ubicación del material de relleno, y a continuación se utilizará la cantidad y calidad adecuadas para garantizar que la mezcla resultante cumpla las normas establecidas en la sección 207 de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras de 2013 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

2.2.5.5. Estabilización por sustitución de los suelos

Las dos opciones principales cuando la subbase debe estar compuesta íntegramente por materiales seleccionados son: construir la capa sobre el suelo existente o excavar el suelo y sustituirlo por el material adicional.

Antes de nivelar y compactar el suelo original hasta alcanzar la densidad requerida para el terraplén, debe excavar o escarificarse hasta una profundidad de 15 cm. Se ha logrado una preparación suficiente del suelo de soporte de la subbase. La instalación de los materiales de acuerdo con el nivel de la subbase y la densidad necesaria, basada en los espesores indicados en el estudio del proyecto, requiere el empleo de procesos y equipos de compactación adecuados. Puede ser necesario humedecer o airear el suelo excavado para obtener el contenido de humedad óptimo para la compactación. En el segundo caso, el suelo se sustituye por completo hasta el espesor especificado cuando los nuevos materiales de mejora lo requieren. Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014), las pilas de material de relleno deben compactarse hasta alcanzar los niveles especificados una vez que se haya alcanzado el nivel de excavación adecuado.

El diseño de una carretera comienza con el estudio de mecánica de suelos, el cual determina cuánto material del sustrato debe ser reemplazado. Esta decisión no es fija, sino que depende de un equilibrio entre la resistencia del terreno y la "fatiga" que causará el tráfico esperado. No obstante, para facilitar el proceso cuando el suelo es débil (CBR entre 3% y 6%), la Tabla N°3 ofrece una guía técnica con espesores recomendados para el uso de material de préstamo.

Tabla 3

Espesores recomendados para la sustitución de suelos

Tráfico		Espesor de Reemplazo con Material CBR>10% (cm)
0	25 000	25.0
25 001	75 000	30.0
75 001	150 000	30.0
150 001	300 000	35.0
300 001	500 000	40.0
500 001	750 000	40.0
750 001	1 000 000	45.0
1 000 001	1 500 000	55.0
1 500 001	3 000 000	55.0
3 000 001	5 000 000	60.0
5 000 001	7 500 000	60.0
7 500 001	10 000 000	65.0
10 000 001	12 500 000	65.0
12 000 001	15 000 000	65.0
15 000 001	20 000 000	70.0
20 000 001	25 000 000	75.0
25 000 001	30 000 000	75.0

Nota: Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2013).

2.2.5.6. Estabilización de suelos con cal

Para elaborar el mortero de cal y tierra se utiliza una mezcla de agua, cal y tierra (Figura 14). La piedra caliza se calcina para producir óxido de calcio, también conocido como cal viva o cal anhidra, o hidróxido de calcio, también



conocido como cal hidratada o cal apagada. La presencia de dióxido de carbono en esta cal le confiere la capacidad de carbonatarse o endurecerse al exponerse al aire, lo que le ha valido los nombres de cal aérea y cal hidráulica, respectivamente (Angulo 2012).

Una vez que la cal estabiliza el suelo, la floculación y el intercambio iónico se producen rápidamente, pero la respuesta puzolánica se retrasa considerablemente. La sílice y la alúmina del suelo reaccionan con la cal cuando esta se acerca a la saturación, creando silicatos y aluminatos de calcio insolubles. Entre las consecuencias más notables se encuentra la modificación de la flexibilidad del suelo provocada por los acondicionadores de piedra caliza. Los suelos con un índice inferior al 15 % presentan límites de consistencia más altos, mientras que los suelos con un índice superior al 15 % tienen límites de plasticidad más bajos. Como se muestra en el ensayo de Proctor modificado (Melendrés 2016), es posible colocar asfalto sobre suelos que normalmente no serían adecuados para ello añadiendo cal al suelo para aumentar su contenido de humedad de compactación.

La cal se utiliza a menudo para estabilizar suelos arcillosos, que se caracterizan por una elevada proporción de partículas finas, una gran plasticidad y una distribución irregular del tamaño de las partículas (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

La mayor plasticidad y el contenido de humedad ideal para la compactación facilitan y agilizan la construcción. El proceso de mezcla suele constar de dos fases, con un tiempo de reacción de uno a dos días entre ellas.

En regiones con suelos ricos en arcilla o en canteras con predominio de material granular, la cal se utiliza con mayor frecuencia como capa de rodadura y en las capas de base para la estabilización del suelo (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

Según la Asociación Nacional de la Cal, la estabilización del suelo mediante el uso de cal da lugar a las siguientes propiedades físicas:

- - Un índice de plasticidad más bajo, debido a unos valores más bajos del límite líquido y más altos del límite plástico.
- Dado que las partículas del suelo tienden a aglomerarse, su capacidad natural de cohesión se ve muy reducida.
- Al disminuir el contenido de agua del suelo, lo que facilita la desintegración de los grumos, se obtiene una mezcla más maleable y fiable. Los suelos demasiado húmedos pueden compactarse más rápidamente con la ayuda de cal.
- Es mucho menos probable que se hinchen o se contraigan que otros materiales.
- Tras el curado, la resistencia a la compresión de la mezcla mejora; en algunos casos, este aumento puede alcanzar el 40 %.
- Cuando el valor CBR aumenta, la capacidad de carga del suelo mejora.
- Como resultado, se produce un aumento de la resistencia a la tracción.

- La formación de capas impide el movimiento de las precipitaciones y las aguas subterráneas provocado por la ascensión capilar.

En cada uno de estos casos, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014) constató que los suelos estabilizados con cal ofrecían un buen rendimiento.

- La dosificación de cal hidratada en un rango del 2% al 4% respecto al peso seco del agregado permite la optimización de materiales granulares compuestos por matrices de grava y arcilla. Esta adición química es particularmente efectiva en capas de subbase o base, donde el agente estabilizador modifica la plasticidad de la fracción fina y mejora la capacidad de soporte estructural mediante reacciones de intercambio catiónico.
- La dosificación óptima de cal para la estabilización de suelos arcillosos está supeditada a la función estructural que desempeñará la capa en el pavimento. Para aplicaciones de subbase, se recomienda una adición química que oscile entre el 1% y el 3%. No obstante, si el material se proyecta como capa de rodadura, la concentración de cal debe incrementarse a un rango entre el 5 % y el 10 % para garantizar la resistencia al desgaste y la estabilidad superficial.

Método para la estabilización con cal de un subsuelo arcilloso (Figura 14).

Figura 14*Estabilización de suelos con cal**Nota:* Google Imágenes

2.2.5.7. Estabilización de suelos con cemento

La tierra suelta se mezcla con cemento, agua y otros ingredientes (que pueden variar en función del caso concreto) y, a continuación, se compacta y se deja fraguar para formar la mezcla de tierra y cemento. Este proceso transforma el material suelto en un sólido mucho más resistente que el suelo natural; sin embargo, en lugar de que las partículas de tierra queden recubiertas por una capa cementosa, se unen entre sí grano a grano. Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014), la resistencia y el módulo de elasticidad de la tecnología de suelo-cemento son inferiores a los del hormigón.

La proporción de cemento necesaria varía según el tipo de suelo, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Rango de cemento requerido para la estabilización de suelo

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje de peso de los suelos
A - 1 - a	3 – 5
A - 1 - b	5 – 8
A - 2	5 – 9
A - 3	7 – 11
A - 4	7 – 12
A - 5	8 – 13
A - 6	9 – 15
A - 7	10 – 16

Nota: Federal Highway Administration (FHWA).

En la figura 15 se muestra el uso de una motoniveladora para estabilizar una subbase arcillosa con cemento.

Figura 15

Estabilización de suelos con cemento



Nota: Google Imágenes

2.2.5.8. Suelos estabilizados con escoria

La escoria es un subproducto de los hornos de fundición y tiene diversas aplicaciones prácticas en todo el mundo. Se utiliza como árido en el hormigón, estabiliza las capas de base, forma parte del ligante bituminoso de los pavimentos asfálticos, tiene usos agrícolas y se emplea en el tratamiento de aguas residuales. También se utiliza en la producción y el procesamiento de cemento. Podemos reducir nuestro impacto en el medio ambiente y evitar que cambie la topografía de la región uno de los principales factores que contribuyen al cambio climático reutilizando este material en lugar de abrir nuevas canteras. Dado que no es necesario procesar los áridos, se consume menos energía y se generan menos emisiones de CO₂ (Choque 2016).

La composición habitual de los suelos enriquecidos con escoria y cal oscila entre un 35 % y un 45 % de escoria en volumen y entre un 1,5 % y un 3 % de cal en peso.

El uso de gránulos más pequeños que la arena facilita evitar defectos en la superficie de la carretera y el desgaste prematuro de equipos como las motoniveladoras. Además, las partículas de áridas arrastradas por el tráfico de más de un centímetro de tamaño podrían suponer un obstáculo tanto para las personas como para los vehículos (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

2.2.5.9. Estabilización con productos asfálticos

Tal y como se indica en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, la mezcla de tierra y asfalto podría utilizarse para:

- Mayor estabilidad gracias al recubrimiento de las partículas de suelo con un aglutinante con propiedades aglomerantes.
- Hacer que el suelo sea impermeable lo hace más estable, ya que reduce su sensibilidad a las variaciones en el contenido de humedad.

2.2.6. Definición de la subrasante

La capacidad de esta sección del pavimento para soportar cargas dinámicas y otras tensiones depende en gran medida de las cualidades físicas y mecánicas de la subbase, así como de su espesor. La capacidad portante (CBR), o resistencia a la deformación producida por el esfuerzo cortante derivado de las cargas del tráfico, es un parámetro importante para evaluar esta capa. Se debe tener en cuenta la sensibilidad de la resistencia del suelo a la humedad y cualquier problema causado por fluctuaciones volumétricas debidas a la temperatura o al contenido de humedad (expansión-contracción).

Como se muestra en esta investigación, pueden producirse daños significativos en los edificios construidos sobre suelos de subbase expansivos como consecuencia de las fluctuaciones volumétricas del suelo. Los pavimentos construidos sobre este tipo de suelos requieren una atención especial durante la construcción para evitar filtraciones de agua, lo que se consigue mediante la impermeabilización. La estabilización es otro enfoque que se utilizará en este estudio para abordar esta cuestión. Investigaciones anteriores sobre este tipo concreto de suelo arcilloso han mostrado resultados prometedores cuando se emplea la cal como estabilizador (Montejo 2002).

Sobre la subbase que es la superficie nivelada o en pendiente que se obtiene tras el corte o el relleno se coloca una estructura de soporte del tráfico, como el pavimento o la capa de base.

El ensayo CBR determina la capacidad de soporte de la subbase.

2.2.6.1. Características de la subrasante

El valor CBR se utiliza para caracterizar la subbase, ya que su capacidad de carga natural es una de sus propiedades principales. La tabla 5 del Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos puede arrojar luz sobre el tema, si fuera necesario:

Tabla 5

Categorías de la subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Insuficiente	3% ≤ CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	6% ≤ CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	10% ≤ CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	20% ≤ CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota: (MTC, 2014)

La subbase es la tierra que se encuentra debajo de la carretera. Factores como el tipo de suelo, el volumen de tráfico y las condiciones meteorológicas influyen de manera significativa en el rendimiento de una carretera. Las cargas transmitidas desde la estructura del pavimento deben ser soportadas por la subbase. Por lo tanto, el grado de compactación, el contenido de humedad y el

tipo de suelo influyen en su capacidad de soportar cargas (Çimen, Saltan y Keskin, 2013).

2.2.7. Descripción de los suelos

Los suelos deben clasificarse según los sistemas AASHTO y SUCS.

A. Granulometría

Esto es lo que dice el Manual sobre carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014):

En este contexto, el tipo de suelo se define como una distinción entre los suelos en función de la proporción y el tamaño de las partículas que los componen. A partir del tamaño de las partículas, el objetivo es determinar la proporción de elementos presentes en el suelo. (30 páginas). A continuación, se muestra la tabla que se deriva de esto:

Tabla 6

Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de material		Tamaño de las partículas
Grava		75mm – 4.75mm
Arena		Arena gruesa: 4.75mm – 2.00mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425mm – 0.075mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

B. Límites de Consistencia

El límite líquido es el porcentaje de agua necesario para que se cierre una ranura de 2 mm de espesor tras ser sometida a 25 caídas (a un ritmo de 2 caídas por segundo) desde una altura de 10 mm. La ranura se construyó utilizando dos muestras de tierra colocadas en la máquina Casagrande. Se trata del contenido de humedad del suelo más bajo posible en el que puede producirse un flujo inducido por la vibración (Rakesh y Bikram, 2019, p. 3).

El límite plástico es el contenido de humedad mínimo al que el suelo se agrieta cuando se frota entre superficies planas con cilindros de 3 mm de diámetro (Oswald, Tam y Kennedy, 2018, p. 1529).

El índice de plasticidad mide la cantidad de agua presente en el suelo cuando este se encuentra en estado plástico; se calcula como la diferencia entre los límites líquido y plástico. Su función principal es medir el grado de expansión de los suelos expansivos (Zhou et al. 2019, p. 3).

Esto es lo que dice el Manual sobre carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014):

Característica del suelo que indica la cantidad de agua que puede retener antes de desintegrarse. Para determinarla se utilizan los ensayos de límites de Atterberg: el límite líquido (LL), el límite plástico (PL) y el límite de contracción (SL). La diferencia entre el LL y el PL se conoce como índice de plasticidad (PI). Un índice de plasticidad (PI) alto indica que el suelo es muy arcilloso, mientras que un PI bajo indica que el suelo contiene relativamente poca arcilla. página 31.

Tabla 7

Clasificación de sueños según Índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	suelos muy arcillosos
$20 \geq IP > 7$	Media	suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
$IP = 0$	No plástico (NR)	suelos exentos de arcilla

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

C. Índice de grupo

Se trata de un sistema de clasificación de suelos aprobado por la AASHTO que se basa en gran medida en los límites de Atterberg. El índice de grupo puede adoptar cualquier valor positivo comprendido entre cero y veinte. El valor indicado es 0 si el GI calculado es negativo. Si el índice es cero, el suelo es ideal para la construcción de carreteras; si es de veinte o más, el suelo no es aceptable. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01(bd)$$

Donde:

a: Representa la diferencia entre el porcentaje de material que atraviesa el tamiz N° 200 (74 micras) y el valor base de 35. Este coeficiente se reporta como un número entero positivo, ajustando los resultados fuera de rango al intervalo mínimo de 1 y máximo de 40.

b: Cuantifica la fracción del porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 (74 micras) que excede el valor de 15. Al igual que el parámetro anterior, el resultado

debe expresarse mediante un número entero positivo situado dentro del rango de 1 a 40.

c: Evalúa el impacto del Límite Líquido (LL) del suelo cuando este supera el umbral del 40 %. El valor obtenido se define como un número entero que debe oscilar estrictamente en un intervalo comprendido entre 0 y 20.

d: Mide la incidencia del Índice de Plasticidad (IP) en la clasificación, considerando únicamente el exceso por encima del 10 %. Este dato se expresa como un número entero cuyo valor mínimo es 0, pudiendo alcanzar o superar las 20 unidades según la plasticidad del material.

Tabla 8

Clasificación de suelos según Índice de Grupo

Índice de grupo	Suelo de subrasante
$IG > 9$	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy bueno

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

D. Humedad natural

Al comparar el contenido real de humedad del suelo con el nivel óptimo de humedad determinado en el ensayo de Proctor, se puede determinar el CBR del suelo. Según el experto, si el nivel de humedad natural del suelo es igual o inferior al contenido de humedad recomendado, se debe añadir agua y compactar el suelo como de costumbre. Según el Ministerio de Transporte y

Comunicaciones (2014), si el contenido de humedad natural es superior al contenido de humedad óptimo, puede recomendarse aumentar la energía de compactación o sustituir el material saturado.

E. Clasificación de los suelos

Para la clasificación de los suelos se seguirán las normas establecidas por la AASHTO y la ASTM. Gracias a esta clasificación, es posible identificar con mayor precisión las zonas geotécnicamente homogéneas, lo que mejora la exactitud de las predicciones aproximadas del comportamiento del suelo. Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

Tabla 9

Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS

Categoría de Suelos AASHTO AASHTO M – 145	Categoría de Suelos SUCS 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: "Tomado de US Army Corps of Engineers"

F. Proctor modificado

Según Braja (1985, p. 52), la tierra se compacta en un molde con un volumen de 943,3 cm³. El molde tiene un diámetro de 101,6 mm. Tras mezclar la tierra con diferentes cantidades de agua, se compacta en cinco capas iguales

aplicando 25 golpes a cada capa con un apisonador. La altura de caída del apisonador es de 304,8 mm y su peso es de 24,4 N. La densidad aparente húmeda tras la compactación para cada experimento.

Tabla 10

Especificaciones para la prueba Proctor Modificado (ASTM D-1557)

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	4 pulg (101.6 mm)	4 pulg (101.6 mm)	6 pulg (152.4 mm)
Volumen de molde	0.0333 pie ³ (944 cm ³)	0.0333 pie ³ (944 cm ³)	0.075 pie ³ (2124 cm ³)
Peso de pizón	10 lb (4.54 kg)	10 lb (4.54 kg)	10 lb (4.54 kg)
Altura de caída del pizón.	18 pulg (457.2mm)	18 pulg (457.2mm)	18 pulg (457.2mm)
Número de golpes de pizón por capa de suelo.	25	25	56
Número de capas de compactación.	5	5	5
Energía de compactación.	56,000 pie.lb/pie ³ (2700 kN.m/m ³)	56,000 pie.lb/pie ³ (2700 kN.m/m ³)	56,000 pie.lb/pie ³ (2700 kN.m/m ³)
Suelo por usarse.	Porción que pasa la malla N°4(4.57mm). Puede usarse si 20% o menos por peso es retenido de la malla de 3/8 pulg. (9.5mm)	Porción que pasa la malla 3/8 pulg. (9.5mm). Puede usarse si el suelo retenido en la malla N°4 es más de 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 3/8pulg. (9.5mm)	Porción que pasa la malla de 3/4 pulg (19.0mm). Puede usarse si más de 20% por peso del material es retenido en la malla de 3/8 pulg (9.5mm) y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 3/4 pulg (19.00mm)

Nota: Braja (2010)

G. Valor De Soporte California (CBR)

El objetivo de este ensayo es determinar cuánto peso pueden soportar los suelos y los áridos en condiciones de laboratorio controladas, como un contenido de humedad ideal y diferentes niveles de compactación (CBR, índice de resistencia de California). En 1929, el Departamento de Obras Públicas de California estableció este ensayo para clasificar y evaluar la idoneidad del suelo para su uso como material de subbase o base en la construcción de autopistas y aeropuertos. En condiciones reguladas de humedad y densidad, el ensayo

evalúa la resistencia al corte del suelo, lo que a su vez arroja un índice de resistencia porcentual. Tal y como afirma Hernández Canales (2008), en la página 15, el índice de resistencia a la compresión (CBR) es la relación entre la fuerza necesaria para introducir un pistón estándar en un suelo compactado a una profundidad y velocidad específicas, y la fuerza necesaria para introducir el pistón en una probeta que contiene una muestra estándar de material triturado a la misma profundidad y velocidad.

En la tabla siguiente se muestra un ejemplo de cómo se clasifica a menudo la infraestructura de pavimentos:

Tabla 11

Usos de materiales de acuerdo al CBR

	CLASIFICACIÓN		SISTEMA		DE
CBR	GENERAL	USOS	CALSIFICACIÓN		
			SUCS	AASHTO	
0 % – 3%	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7	
3% – 7%	Pobre a regular.	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7	
7% – 20%	Regular	Sub – base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7	
20% - 50%	Bueno	Base, sub – base	GM, GC, W, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6	
>50%	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3	

Nota: Carlos Crespo Villalaz, 2004.

2.2.8. Aceite de motor reciclado

La fuente más habitual de los aceites lubricantes (LO) es el petróleo crudo. Los aceites lubricantes suelen contener diversos componentes químicos, entre

los que destacan el aceite base (80-90 %) y los aditivos químicos (10-20 %). Los aceites lubricantes se utilizan principalmente para proteger la maquinaria y los equipos contra el desgaste y la corrosión, minimizar la fricción y el polvo, y mejorar la transmisión de calor (D. K. Essumang, et al., 2019).

Las funciones principales del aceite lubricante son facilitar la transmisión de calor, proteger contra la erosión y reducir la fricción, el polvo y la corrosión en una gran variedad de maquinaria y equipos. Cuando el aceite lubricante se calienta para su uso, pierde parte de su calidad y resistencia, incluyendo su punto de fluidez, punto de inflamación, gravedad específica, viscosidad y otras características. El aceite lubricante (LO) deja de ser apto para el uso habitual cuando se acumulan en él impurezas como agua, metales, residuos de carbono, cenizas, gomas, barnices, etc., y el aceite sufre cambios químicos como el deterioro por calor o la oxidación. Debido a estas impurezas, el aceite lubricante pierde parte de su eficacia y se convierte en aceite usado. La ecología podría verse significativamente afectada por la manipulación y eliminación inadecuadas del aceite lubricante usado (O. Temitayo, et al., 2018).

Métodos de tratamiento convencionales/genéricos del aceite de motor reciclado:

- **Arcilla con una base ácida.** Según un estudio sobre otras tecnologías de reciclaje, el proceso de arcilla ácida es el más costoso y el más peligroso para el medio ambiente. En el proceso se utiliza lubricante reciclado que ha sido tratado con ácido y arcilla. Gracias a sus propiedades absorbentes, la arcilla puede eliminar tanto el olor como la decoloración. La técnica del ácido y la arcilla

destaca sobre otros enfoques por su procedimiento sencillo, su escasa inversión inicial, sus bajos costes de funcionamiento y la ausencia de necesidad de conocimientos especializados por parte del operador (D. K. Essumang, et al., 2019).

- **Extracción con disolvente (SE).** Los aceites base obtenidos mediante extracción con disolvente son de calidad superior y los índices de contaminación se reducen considerablemente. No obstante, requiere equipos especializados y personal cualificado debido a las elevadas presiones a las que se trabaja. El butanol, el etanol, el MEK, el tolueno y la acetona se encuentran entre los disolventes que se han utilizado en la extracción con disolvente (O. Temitayo et al., 2018).).
- **Destilación al vacío (VD).** En primer lugar, el aceite se somete a un tratamiento previo para eliminar los contaminantes que pueden provocar la obstrucción y la corrosión de los equipos. A continuación, la destilación separa el agua y los hidrocarburos ligeros, lo que constituye el proceso fundamental de la destilación al vacío. El destilado se somete a un hidrotratamiento a alta presión y temperatura con un catalizador tras la destilación al vacío, con el fin de eliminar los componentes orgánicos, el azufre, el cloro y el nitrógeno (D. K. Essumang, et al., 2019).).
- **Hidrogenación.** La hidrogenación es el siguiente paso. En resumen, el proceso de hidrogenación consiste en calentar y mezclar el aceite usado con hidrógeno caliente en una cámara de

mezcla a presión. La mezcla se conduce a un separador que alimenta un separador de residuos. A continuación, pasa por una serie de etapas en un reactor catalítico para extraer los metales solubles y, posteriormente, se somete a un reactor de hidroacabado para eliminar el asfalto y el azufre, entre otros componentes. Según O. Temitayo et al. (2018), los hidrocarburos tratados dieron lugar a productos con mejor color, características químicas y aroma.

- **Descubra las características de los aceites de automóviles usados.** El combustible, el agua, los contaminantes mecánicos y los subproductos pueden alterar la densidad del aceite usado. Comparamos los resultados obtenidos con la mezcla de aceites usados y con dos aceites usados recogidos por separado con los valores de cada propiedad en muestras de aceite regenerado tratado con diversos ácidos. A través de procesos de oxidación durante la combustión. La gravedad específica de una sustancia se define como su densidad dividida por su densidad en agua. Una mayor concentración de hidrocarburos aromáticos provoca un aumento de la gravedad específica, mientras que una mayor concentración de hidrocarburos saturados provoca una reducción (C. Stana, et al., 2018).)
- El Equipo de Salud Laboral y Medio Ambiente ha formulado las siguientes observaciones: El aceite usado, un líquido de color oscuro con poca o ninguna viscosidad, contiene una serie de

sustancias potencialmente nocivas. En los aceites lubricantes usados se encuentran cantidades significativas de metales pesados como As, Pb, Cd, Cr y Zn. Según D. K. Essumang et al. (2019), la principal fuente de estos metales es la fricción que se produce entre las piezas desgastadas del motor y el dispositivo de lubricación.

Tabla 12

Aceite de motor reciclado



Nota: Automexico

2.2.8.1. Grados de aceptabilidad del uso del aceite de motor reciclado

Dado que los lubricantes almacenados en contenedores pueden presentar variaciones en su calidad, los clasificamos según su pureza confirmada, teniendo en cuenta en todo momento el grado de contaminación del aceite. Esto puede considerarse un recurso útil, dependiendo de la clasificación que se establezca en función del procesamiento del petróleo necesario para cumplir los criterios de contaminación. Las tablas siguientes detallan los posibles

productos químicos y contaminantes que se encuentran en los lubricantes usados; sin embargo, se trata únicamente de niveles de referencia establecidos por organizaciones como la EPA con el fin de aumentar la aceptabilidad de los lubricantes (N. Phetyim, et al., 2018).

Tabla 13

Fases de contaminantes permitidos en los aceites usados.

SUSTANCIAS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE (mg/kg-ppm)
Bifenilos policlorinados (PCBs)	50
Halógenos orgánicos totales	1000
Arsénico	5
Cadmio	2
Cromo	10
Plomo	10
Azufre	1.7% en peso

Nota: U.S. EPAUnited states environment protection agenc.

En entornos comerciales, industriales o extractivos, el petróleo puede utilizarse como un estabilizador de alta calidad para el material de la subbase, ya que sus niveles de metales contaminantes (metales pesados) son inferiores a los del suelo inorgánico. De acuerdo con el Decreto Supremo n.º 011-2017-MINAM de 2017, el nivel de agregación de componentes, compuestos o variables físicas, químicas y biológicas en el suelo viene determinado por el estado del receptor del suelo, con el fin de garantizar que no se ponga en peligro ni la salud humana ni el medio ambiente.

Tabla 14

Estándares de calidad Ambiental para suelos Inorgánicos

PARÁMETROS EN mg/kg PS	Suelo agrícola	Suelo residencial/ parques	Suelo comercial/ industrial/ extractivo	PROCESO DE ENSAYO
Arsénico	50	50	140	EPA 3050
Bario total	750	500	2000	EPA 3050
Cadmio	1.4	10	22	EPA 3050
Cromo total	**	400	1000	EPA 3050
Cromo VI	0.4	0.4	1.4	EPA 3060
Mercurio	6.6	6.6	24	EPA 7471
Plomo	70	140	800	EPA 3050
Cianuro libre	0.9	0.9	8	EPA 9013

Nota: U.S. EPA United states environment protection agenc.

2.2.8.2. Efecto del aceite automotriz usado en el suelo

Si el aceite usado se filtrara al suelo, podría destruir toda la vida del suelo y convertir la zona en un páramo debido a los hidrocarburos y compuestos de carbono que contiene. Otra forma en que los vertidos de aceite dañan los ecosistemas es cuando la gente lo vierte al suelo sin pensarlo dos veces. Cuando el aceite reacciona con la luz solar y el viento, genera sustancias químicas nocivas que se filtran en el suelo y siguen contaminándolo (S. Musa, 2019).

Debido a su potencial de reutilización y a sus múltiples usos, el aceite de motor recuperado o el aceite quemado ofrece varias ventajas, entre ellas:

- El principal uso del aceite de motor usado es como combustible para calderas y otra maquinaria que consume mucha energía. Un inconveniente es que se utiliza una gran cantidad de aceite de motor reciclado para controlar el polvo de las carreteras, lo que

libera al aire una gran cantidad de contaminantes perjudiciales para la salud de los trabajadores. Por lo tanto, esta práctica tiene sus pros y sus contras. La dispersión del polvo, habitual durante el mantenimiento y la construcción de carreteras, puede controlarse utilizando aceite de motor usado (S. Musa, 2019).

- En el sector de la construcción con hormigón es habitual, aunque no recomendable, la práctica de obtener aceite de motor usado de diversas fuentes, ya sean legales o ilegales, y reutilizarlo posteriormente en maquinaria agrícola como sierras eléctricas, postes eléctricos, tutores para cultivos y descofradores (D. K. Essumang et al., 2019).
- El reciclaje del aceite de motor presenta varias ventajas, pero la más importante es la reducción de la carga económica actual. Otra ventaja es que contribuye a promover y proteger los recursos naturales, como el petróleo y sus derivados (U. Adekeye, 2021).

2.3. Marco conceptual

1. Suelo: La construcción de carreteras, la ingeniería civil, los proyectos arquitectónicos, etc., se basan todos en el suelo como cimiento físico. Su comportamiento viene determinado por su estado, su naturaleza y sus características geomecánicas (Braja, 2001).
2. Carretera: El objetivo de una carretera es garantizar un flujo continuo y seguro de vehículos, al tiempo que se garantiza la



comodidad y la seguridad de quienes la utilizan. Las carreteras se construyen en franjas estrechas de terreno denominadas derechos de paso (MTC, 2014).

3. Aceites reciclados: Los aceites que se han utilizado en maquinaria (como motores, cajas de cambios, transformadores eléctricos, turbinas, etc.) y que posteriormente se han desechado, independientemente de si la maquinaria estaba en uso o no, se denominan aceites reciclados. Los aceites lubricantes utilizados en automóviles y otros procesos industriales constituyen una fuente de aceite reciclado (Arner, Barberan y Mur, 2006).
4. Estabilización de suelos: Para satisfacer las necesidades técnicas de un proyecto, una opción consiste en estabilizar el suelo. Esto implica modificar y mejorar las propiedades del suelo para aumentar su resistencia, durabilidad y otras características (MTC, 2014).
5. Suelos cohesivos: Los limos pueden considerarse un tipo de suelo cohesivo, definido por Crespo (2004, p. 26) como aquellos suelos que poseen fuerzas internas que los mantienen unidos mediante fuerzas moleculares.
6. Afirmado: Una capa de material granular, ya sea natural o artificial, con una granulometría específica que soporta directamente las cargas y tensiones del tráfico, se define como: una capa

compactada. (Glosario de proyectos de infraestructura viaria de 2018)).

7. Calicata: Un pozo de prueba es una zona excavada en paralelo a una carretera con el fin de evaluar las propiedades del suelo.
8. Carretera Afirmada: Una carretera pavimentada se define como «una carretera con una o más capas de pavimento» que recubren la superficie de rodadura. (Glosario del Proyecto de Infraestructura Vial de 2018)).
9. CBR: El ensayo CBR es un método para determinar la resistencia de determinados materiales, incluidos los reciclados, cuando se utilizan para el pavimentado de carreteras y campos. (Fuente: 2016 – Ministerio de Transporte y Comunicaciones)).
10. La definición de «subbase» es la siguiente: «la superficie acabada de la carretera a nivel del movimiento de tierras (desmonte o terraplén), sobre la que se coloca la estructura del pavimento o la capa superficial». (Glosario de proyectos de infraestructura viaria de 2018).



CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como aplicada, fundamentada en la premisa de que los marcos teóricos permiten predecir y transformar elementos específicos de una realidad concreta (Vargas, 2009). Bajo esta perspectiva, el estudio destaca por su capacidad para abordar problemas técnicos de manera directa y con una viabilidad de ejecución inmediata (Fidias, 2012).

En este contexto, se emplearán principios científicos sobre la estabilización de suelos para establecer un referente práctico que optimice las capas estructurales del pavimento. Con un objetivo netamente ingenieril vial, el proyecto busca potenciar las propiedades mecánicas de la subrasante mediante la incorporación de aceite de motor reciclado, transformando un residuo en un agente de mejora para la infraestructura vial.

3.2. Nivel de investigación

Esto se refiere al grado de familiaridad del investigador con el tema, los hechos o los fenómenos objeto de estudio (Condori, 2020). Dado que nos

permite abordar hipótesis causales es decir, examinar las causas de los acontecimientos y procesos con un énfasis principal en su validación, optamos por trabajar en el nivel explicativo (Esteban, 2018). Al utilizar un nivel interpretativo, se emplearán las tácticas adecuadas para dilucidar los elementos y rasgos que, una vez incorporados, harán que el aceite de motor reciclado afecte a la subbase.

3.3. Diseño de investigación

Se considera que la investigación aquí presenta un enfoque cuasi-experimental. Se compone de métodos de investigación que tienen como objetivo determinar el efecto de una intervención y cualquier modificación posterior (Manterola et al., 2019). Los participantes en este tipo de estudio no se seleccionan al azar, sino que se organizan en grupos antes incluso de que comience la investigación (Hernández, 2014). El objetivo general del estudio es determinar cómo influyen los factores independientes en la estabilización de la subbase.

3.4. Enfoque de la investigación

Optamos por un método cuantitativo porque utiliza datos numéricos y pruebas del mundo real para verificar las teorías mediante el análisis estadístico (Del Canto y Silva, 2013). Con el fin de estabilizar el suelo mezclándolo con aceite de motor reciclado, la investigación tiene como objetivo obtener resultados numéricos y tangibles (Rojas, 2011) sobre los cambios en determinados parámetros del suelo. Disponer de datos precisos y cuantitativos es de suma

importancia para evaluar el efecto de factores independientes sobre la mejora de la resistencia, la capacidad de carga y la estabilidad de la muestra.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de estudio está conformada por el material cohesivo de subrasante, clasificado preliminarmente como suelo arcilloso, extraído de la progresiva en estudio de la carretera del centro poblado de Jaquencachi. Dicha zona se ubica en el distrito de Ilave, provincia de El Collao, dentro de la región de Puno, donde el material presenta las características intrínsecas del entorno geológico local.

3.5.2. Muestra

Es necesario excavar pozos de prueba o realizar estudios de campo para recoger la muestra. En el punto kilométrico 1.492, en la localidad de Jaquencachi, El Collao Ilave, región de Puno, se excavará un pozo de prueba a lo largo de la calzada. El pozo de prueba debe excavar hasta una profundidad de 1,50 metros por debajo de la subbase prevista inicialmente. Se utilizará para recoger muestras de suelo que se analizarán en el laboratorio con diferentes proporciones de aceite de motor reciclado (2 %, 4 %, 6 % y 8 %).

3.6. Métodos e instrumentos recolección de datos

3.6.1. Técnica

Hay cinco formas principales de obtener información. Comenzamos con una observación para asegurarnos de que las pruebas fueran válidas antes de

analizarlas y evaluarlas. El siguiente paso consistió en recopilar todos los datos de las pruebas en una tabla que incluyera los resultados de cada una de ellas.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

El laboratorio de suelos proporcionó algunas de las plantillas de ensayo, y el investigador también creó otras. El investigador había previsto estos resultados, por lo que los logró. A continuación, se enumeran algunos de los formatos posibles:

Tabla 15

Instrumentos utilizados para la investigación

Formato	Clasificación
	Suelos Método SUCS
Contenido de humedad (MTC E 108 - ASTM D2216)	(ASTM D2487)
Evaluación granulométrica por tamizado (MTC E107 - ASTM D422)	Suelos Método AASHTO (ASTM D3282)
Límite líquido (MTC E 110 - ASTM D4318)	
Límite plástico (MTC E110 - AST D4318)	
Índice de plasticidad (MTC E 111 - ASTM D4318)	
Proctor Modificado (MTC E 115 - ASTM D1557)	
CBR (MTC E132 - ASTM D1883)	

3.7. Procedimiento

Para aplicar la técnica adecuada, este tipo de investigación debe llevarse a cabo en tres fases. El trabajo de campo, los ensayos de laboratorio y el análisis documental de los datos son componentes de este procedimiento.

3.8. Trabajos previos

3.8.1. Trabajos de campo

La prospección de campo se ejecutó mediante la excavación de calicatas con una profundidad mínima de 1,50 metros, cumpliendo con las disposiciones de la normativa vigente. Estos puntos de exploración se distribuyeron de manera longitudinal y alternada sobre el ancho de la calzada. Para determinar el número total de exploraciones, se aplicarán los criterios del "Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" del MTC , específicamente los lineamientos del Cuadro N° 4.1 , el cual establece la densidad de muestreo en función del tipo de carretera.

Figura 16

Ubicación de calicata para la extracción de muestra



3.8.2. Aceite residual de motor diésel

El aceite reciclado de motor (aceite quemado) empleado para esta investigación se obtuvo del lubricento sancudo del Collao ilave.

Figura 17

Adquisición del aceite residual de motor



3.8.3. Trabajos de laboratorio

A. Determinación del contenido de humedad

La muestra de referencia se sometió a un ensayo de contenido de humedad siguiendo el protocolo descrito en la norma MTC E 108. De acuerdo con los procedimientos descritos en la sección 1: «Suelos» del Manual de Ensayos de Materiales, el contenido de humedad se determinó tan pronto como fue posible tras el muestreo. Secar el suelo en un horno a 110 ± 5 grados Celsius hasta que alcance un peso constante es una forma de averiguar cuánta agua se ha extraído del suelo. Si se pesa la tierra después de secarla en el horno, se puede averiguar cuántas partículas sólidas hay. La pérdida de peso durante el secado es directamente proporcional a la densidad del agua.

Figura 18*Secado de la muestra*

B. Ensayo de análisis granulométrico

La clasificación del suelo y la determinación cuantitativa o caracterización de la distribución del tamaño de las partículas del suelo requirieron un análisis manual del tamaño de las partículas, que se llevó a cabo únicamente en la muestra de referencia, de conformidad con la norma MTC E 107.

Procedimiento

- Tanto el secado al aire como el secado en horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ permitirán que la muestra alcance un peso constante.
- Cortar la muestra de ensayo en cuatro mitades iguales. Una vez dividida en cuartos, se remoja una muestra representativa para su lavado. A continuación, la muestra se lava utilizando un tamiz n.º 200 y abundante agua.



- Una vez limpia la muestra, séquela en un horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que su peso se mantenga constante. A continuación, déjela enfriar a temperatura ambiente para poder manipularla y pesarla cuando su temperatura sea inferior a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Elige los tamices adecuados en función de las características del material y, a continuación, colócalos en orden descendente según el tamaño de malla.
- Transcurrido el tiempo necesario, tamice la fracción gruesa a mano, pasando de un tamiz de malla de $3/4$ de pulgada a uno de malla n.º 4. Pese, con una precisión de 0,1 g, las muestras que queden en cada tamiz.
- Coloque la tapa y la base en el tamiz que se utilizará para tamizar mecánicamente la fracción fina del suelo (tras pasar por el tamiz n.º 4), es decir, en secuencia descendente desde los tamices n.º 10 hasta el n.º 200. Retire los tamices y mida las partículas que han quedado.
- Mida las partículas que quedan en cada tamiz con una precisión de 0,1 g. Mantenga una precisión del 0,1 % al registrar y procesar los datos.

Figura 19*Tamizado manual*

C. Límites de Atterberg

Límite líquido

Siguiendo el procedimiento MTC E 110 del manual de ensayos de materiales, se llevó a cabo el ensayo del límite líquido. Objetivo: tras 25 golpes, con la muestra original y sin aditivos, determinar el contenido de humedad del suelo cuando se cierra la ranura. Antes de cerrar la ranura tras los 25 golpes, añadir los porcentajes adecuados de aceite residual de motor diésel a la muestra de aceite, mezclar bien y, a continuación, repetir el proceso para determinar el contenido de humedad del suelo.

Procedimiento

- Se obtuvo una muestra de entre 150 y 200 gramos tomando una pequeña cantidad de la muestra seca, triturándola con un mazo de

goma y pasándola luego por un tamiz n.º 40. Esta muestra se destinó al análisis del tamaño de las partículas.

- El rendimiento de las tres repeticiones y el análisis de cada adición de aceite usado se basaron en 800 g de tierra que se había tamizado con un tamiz de malla n.º 40. A continuación, se utilizó un recipiente impermeable para contener la tierra.
- Con una espátula, se mezcló la tierra con agua desmineralizada en un recipiente hasta obtener una pasta homogénea.
- El siguiente paso consistió en verter el material preparado en el molde Casagrande, nivelarlo y presionarlo suavemente para eliminar las burbujas de aire.
- La pasta del molde se dividió en dos mitades iguales trazando una ranura a lo largo de su longitud con la ranuradora.
- Para sellar la ranura, se dejó caer el molde el número de veces necesario a medida que giraba la manivela de la máquina.
- Al incorporar agua al material, se determinaron los rangos especificados en la norma para el número de golpes necesarios para cerrar la ranura.
- Cuando la ranura se selló, se extrajo una pequeña muestra de material para determinar su contenido de humedad.

Figura 20

Porción de la pasta en la copa Casagrande



D. Determinación del límite plástico (LP) de los suelos e índice de plasticidad (IP)

Los ensayos del límite plástico y del índice de plasticidad se llevaron a cabo de conformidad con la norma MTC E 111 del manual de ensayos de materiales. El objetivo de este experimento es determinar el contenido de humedad del suelo mediante la formación de cilindros sobre una superficie plana y su posterior rotura cuando su diámetro alcanza los 3,2 mm. Para obtener el índice de plasticidad, se resta el límite líquido del límite plástico.

Procedimiento

- Todo lo necesario para la tarea en cuestión ya estaba preparado. Los 18 gramos de material que sellaron el hueco tras 30-35 golpes procedían de la sustancia utilizada en el ensayo del límite líquido.

- Se extrajeron muestras de entre 1,5 y 2 gramos de peso de la sustancia tras amasarla entre los dedos para darle forma esférica.
- El siguiente paso consistió en dar forma al material en varillas cilíndricas amasándolo entre 80 y 90 veces por minuto con los dedos sobre el vidrio esmerilado. El proceso de amasado se mantuvo hasta que el material alcanzó un grosor de 1/8 de pulgada (3,2 mm) y cada gránulo analizado se desmenuzó al cabo de 2 minutos.
- Tome dos muestras de 6 gramos de la tierra desmenuzada una vez que haya alcanzado un diámetro de 3,2 mm y, a continuación, séquelas en un horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 21

Enrollado de la muestra y secado de las barritas cilíndricas



E. Proctor modificado

Uno de los métodos más importantes para investigar y garantizar la calidad de la compactación del suelo se describe en la norma MTC E-115, a la que se ajusta este ensayo. Determina el contenido de humedad óptimo para la



compactación de la subbase calculando la densidad seca máxima del suelo en función del contenido de humedad para una energía de compactación determinada.

Objetivo: Determinar el nivel de humedad ideal en el que el suelo alcanza su densidad seca máxima utilizando la muestra original, sin añadir ningún componente. Para preparar la muestra de aceite, basta con añadir la cantidad especificada de aceite de motor diésel usado, remover y repetir el proceso hasta encontrar el nivel de humedad ideal en el que el suelo alcanza su densidad seca máxima.

Procedimiento

- Los porcentajes de material que pasó y quedó retenido se obtuvieron analizando los tamaños de tamiz de interés tras tomar una muestra representativa (método A, B o C). El material destinado al ensayo se pasó por un tamiz n.º 4 como parte del método A.
- Mediante un secador, la muestra de campo se secó a una temperatura inferior a 60 °C.
- Antes de pasar por un filtro n.º 4, el material seco se desmenuzó en pequeños grumos hasta que quedó totalmente suelto.
- Se tomaron muestras de 40 kg de tierra que habían pasado por el tamiz n.º 4 con el fin de analizar cada adición de aceite usado y el rendimiento de las cuatro repeticiones. Para esta aplicación concreta, multiplicamos el porcentaje de adición por 40 kg de tierra



para obtener el peso del aceite que debía aplicarse. A continuación, se vertió la tierra en un recipiente hermético. El aceite se añadió con cuidado utilizando una espátula y una botella de plástico con dos orificios en la parte superior, asegurándonos de distribuirlo uniformemente. Después, se mezcló completamente la mezcla.

- Tras pesar 2.400 gramos de material, se añadió una determinada proporción de humedad.
- La humedad añadida se mezcló completamente con la sustancia. Se prepararon todas las herramientas y el equipo necesarios.
- Se colocó un peso sobre el molde.
- Se utilizó un molde de 101,6 mm de diámetro para compactar el suelo en cinco capas, con una energía de compactación de 44,5 N aplicada mediante una caída desde una altura de 18 pulgadas.
- Se realizaron veinticinco golpes para compactar cada capa.
- Una vez compactadas las cinco capas, se retiró el collarín y se utilizó una cuchilla para nivelar toda la superficie junto al borde superior del molde.
- Se midió el suelo compactado y el molde.
- Se determinó el contenido de humedad tomando una muestra del material compactado en el molde.

- Se repitió todo el proceso al menos cuatro veces con diferentes contenidos de humedad.

Figura 22

Compactación del material



F. CBR de suelos (laboratorio)

La resistencia del suelo, en condiciones controladas de densidad y contenido de humedad, se midió de acuerdo con la norma MTC E 132.

El objetivo del ensayo CBR es determinar el valor de resistencia, o índice de resistencia del suelo, de la primera muestra sin tratar utilizando la densidad y el contenido de humedad obtenidos en el ensayo Proctor modificado. Tras determinar la densidad y el contenido de humedad del suelo mediante el ensayo Proctor modificado, se calcula el valor de resistencia, o índice de resistencia del



suelo, mezclando la muestra de suelo con cantidades variables de aceite de motor diésel usado.

Procedimiento

- Se prepararon todas las herramientas y el equipo necesarios. Se pesaron los moldes antes de la prueba.
- Tras pesar toda la tierra necesaria para una adición, se calculó el porcentaje de aceite en peso multiplicando la cantidad total de tierra necesaria por el porcentaje de adición de aceite usado.
- Antes de empezar a mezclar, determina el contenido de humedad mediante el ensayo Proctor modificado y añádelo a 5.000 gramos de tierra seca.
- Con la ayuda de las placas base, los collares de extensión, los discos espaciadores y el papel de filtro, monta los moldes cilíndricos.
- - Utilizando los tres moldes CBR, se compactó la muestra en cinco capas: la primera capa requirió 12 golpes, la segunda, 25 golpes, y la tercera, 55 golpes.
- Tras ser compactadas con un número variable de golpes, cada molde se niveló y se pesó.
- Se pesaron los moldes que contenían el material comprimido y, a continuación, se colocaron los pesos y el trípode, cada uno con su propio medidor de deformación.

- Para medir con precisión la hinchazón, se sumergieron los moldes en agua mientras se ajustaba el medidor de deformación. Se tomaron lecturas de la hinchazón una vez cada veinticuatro horas.

Figura 23

Inmersión y control de hinchamiento de las muestras.



- Tras un día completo de inmersión, se sacó la muestra del agua junto con las pesas, el trípode y el medidor de deformación. Se dejó escurrir durante 15 minutos. Se calculó el peso total de la muestra sumergida, incluido el molde.
- - Una vez fijados los anillos de carga a cada molde, sométalos a una prueba de resistencia en la prensa hidráulica de compresión. Anote los resultados de la prueba de penetración, que debe realizarse a una velocidad de 0,05 pulgadas por minuto.
- Para determinar el contenido de humedad de las muestras empapadas, tome muestras tras realizar las lecturas.

Figura 24

Ensayo de penetración y toma de lectura





CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Análisis de la información

4.1.1. Resultados de los ensayos

a) Contenido de humedad

Utilizamos el MTC E (108-2000), «Contenido de humedad del suelo», como referencia para el contenido de humedad. Capítulo uno del Manual de ensayos de materiales: Suelos.

Tabla 16

Resumen del contenido de humedad

Calicata	Profundidad (m)	Promedio (%)
C-1	0.20 -1.50	23.19

Estado del Suelo: Un valor de 23.19% sugiere que el suelo se encuentra en un estado húmedo a muy húmedo. Dependiendo del tipo de suelo (que se determinaría con un análisis granulométrico y Límites de Atterberg), este porcentaje podría estar indicando una proximidad al Límite Plástico.

b) Análisis granulométrico

El objetivo es determinar qué porcentaje de tierra pasa a través de cada uno de los tamices de ensayo, comenzando por el tamiz de 0,074 mm (n.º 200) y continuando hasta el de mayor tamaño. Directrices: Análisis granulométrico de suelos mediante tamizado (MTC E 107). Manual de materiales: Suelos.

Tabla 17*Análisis granulométrico del suelo natural*

Tamices		Peso	%	% Retenido	% Que
Ø	(mm)	Retenido	Retenido	Acumulado	Pasa
5"	127.00				
4"	101.60				
3"	76.20				
2"	50.80				
1 1/2"	38.10	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.40	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	5.86	0.33%	0.33%	99.67%
1/2"	12.700	39.20	2.21%	2.55%	97.45%
3/8"	9.525	21.12	1.19%	3.74%	96.26%
1/4"	6.350	37.96	2.14%	5.88%	94.12%
Nº 4	4.760	28.30	1.60%	7.48%	92.52%
Nº 8	2.380	98.05	5.54%	13.02%	86.98%
Nº 10	2.000	26.21	1.48%	14.50%	85.50%
Nº 16	1.190	116.52	6.58%	21.09%	78.91%
Nº 20	0.840	74.12	4.19%	25.27%	74.73%
Nº 30	0.590	105.41	5.96%	31.23%	68.77%
Nº 40	0.426	65.02	3.67%	34.90%	65.10%
Nº 50	0.297	36.81	2.08%	36.98%	63.02%
Nº 60	0.250				
Nº 80	0.177	104.23	5.89%	42.87%	57.13%
Nº 100	0.149	23.56	1.33%	44.20%	55.80%
Nº 200	0.074	59.71	3.37%	47.58%	52.42%
Fondo	0.01	927.92	52.42%	100.00%	0.00%
Peso inicial		1770.00			

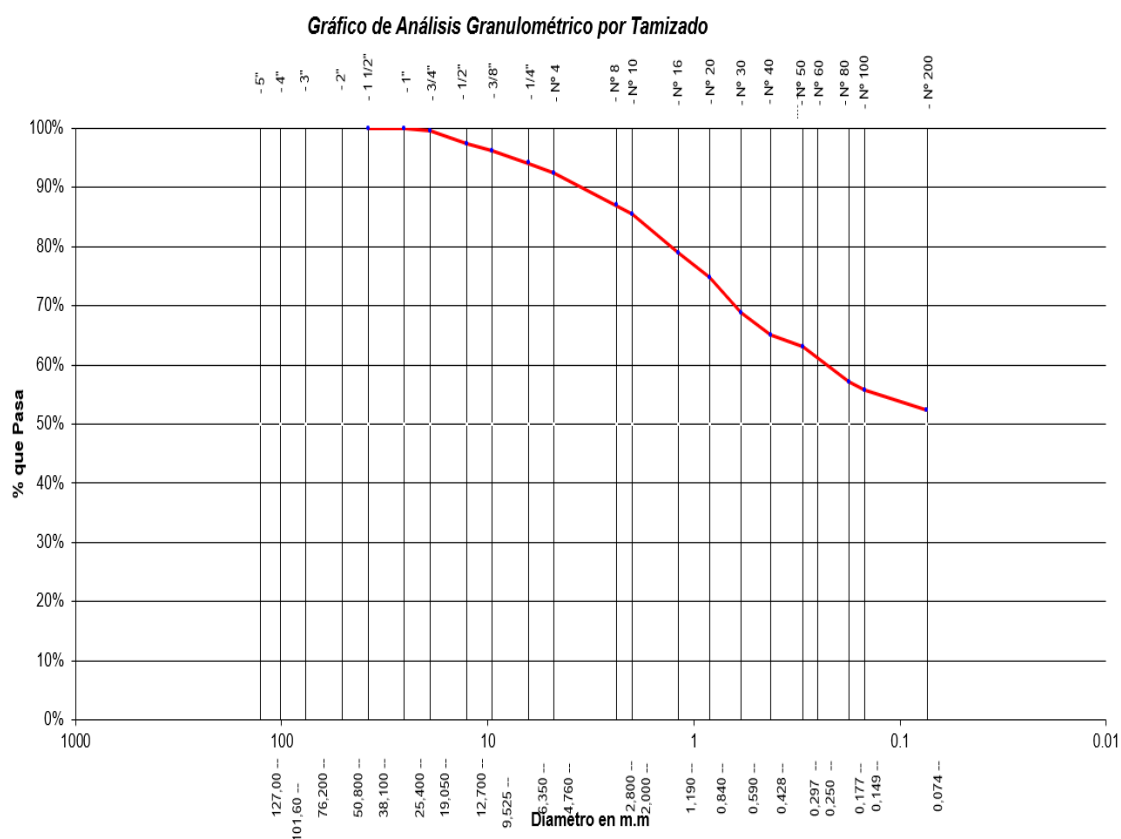
Tabla 18

Distribución de partículas del suelo natural

Calicata C-1	
Grava 3"-N°4	7.48%
Arena N°4-N°200	40.09%
Finos <N°200	52.42%

Figura 25

Curva granulométrica del suelo natural



Uniformidad: La curva presenta una pendiente suave y continua, lo que indica una distribución variada de tamaños dentro de la fracción de arena y finos.

c) Determinación de límite líquido, límite plástico e índice plástico

El ensayo del límite líquido del suelo está normalizado como MTC (E 11 O). MTC (E 111): Determinación del índice de plasticidad y del límite plástico del suelo. Capítulo 1 del Manual de ensayos de materiales: Suelos.

Tabla 19

Características plásticas del suelo natural

Calicata	LL	LP	IP
C-1	33.37%	21.26%	12.11%

Según los resultados del IP, el tipo de suelo es arcilloso en las zonas analizadas, todas ellas con un índice inferior a 10.

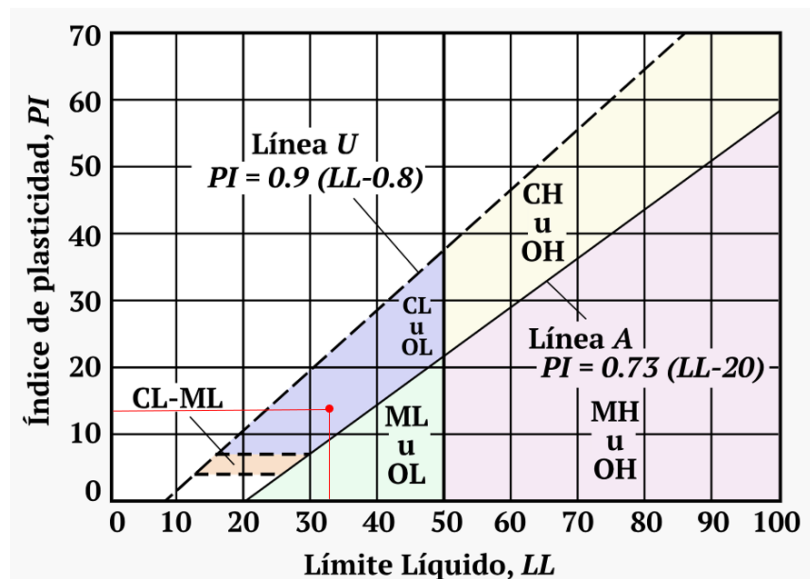
d) Clasificación de suelos (SUCS Y AASHTO)

Requisitos: ASTM D 2487-93. Manual de ensayos de materiales del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), Sección 1: Suelos.

Una vez obtenidos estos valores, se debe trazar una línea entre el límite líquido (LL), el límite plástico (PL) y el índice de plasticidad (PI). Esto se muestra en la figura 26.

Figura 26

Carta de plasticidad de Casagrande



El suelo se clasifica como fino o grueso según los siguientes criterios: si más del 35 % del suelo pasa por una malla de 200, se considera fino; en caso contrario, se considera grueso. A partir de ahí, se aplica la técnica de la AASTHO.

En la tabla 20 se presenta los valores del suelo natural.

Tabla 20

Características del suelo natural

Calicata C-1			
% Que pasa por:		Límites de consistencia	
N°4	92.52%	LL	33.37%
N°10	85.50%	LP	21.26%
N°40	65.10%	IP	12.11%
N°200	52.42%		

Figura 27

Método de clasificación AASHTO

TABLA DE CLASIFICACION AASHTO												
CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% ó menos pasa el Tamiz N°200)							MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (Más del 35% pasa el Tamiz N°200)				
CLASIFICACION DE GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Granulometria (%) que pasa tamiz												
No 10	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No 40	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Plasticidad de fraccion que pasa tamiz No 40												
Limite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	41 mín
Indice plástico	6 máx	6 máx	N.P.	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	11 mín
											(*)	(**)
Tipos de materiales	Frag. de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y Arena limosa ó arcillosa				suelos limosos			suelos arcillosos	
Calidad general como subrasante	excelente a buena							Regular a deficiente				
IG = (F-35) [0.2 + 0.005(LL-40)] + 0.01 (F-15)(IP-10)							(*) El índice plástico del subgrupo A-7-5 es igual o menor que (LL-30)					
F = % de finos LL = límite líquido IP= índice plástico							(**) El índice plástico del subgrupo A-7-6 es mayor que (LL - 30)					

Determinamos el índice de grupo con la formula siguiente:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

$$IG = (52.42 - 35)[0.2 + 0.005(33.37 - 40)] + 0.01(52.42 - 15)(12.11 - 10)$$

$$IG = 3.70$$

$$IG = 4$$

Tabla 21

Resumen del resultado de la clasificación de suelos SUCS Y ASTHO

Calicata	Profundidad (m)	SUCS	AASHTO
C-1	0.20 - 1.50	(CL) Arcilla de baja plasticidad o arcilla magra	A-6(4)

Sistema SUCS: CL

Significado: Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (arcilla magra).

Comportamiento: Son suelos que presentan cohesión, son impermeables y difíciles de drenar, pero estables si se mantienen protegidos de cambios bruscos de humedad.

Sistema AASHTO: A-6 (4)

Significado: Pertenece al grupo de suelos arcillosos.

Índice de Grupo (4): Este valor indica que el suelo tiene un desempeño de pobre a regular para ser usado directamente como subrasante de carreteras.

e) Prueba Proctor

Alusiones normas: ASTM D-1557, o "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (2700 kN-m/m³)". "Compactación en laboratorio de suelos utilizando esfuerzo modificado". Manual de ensayo de materiales en la sección nº 1 Suelos".

Tabla 22

Resultados de Proctor modificado con diferentes porcentajes de agua

Muestras	Máxima densidad seca (g/cm ³)	Humedad óptima (%)
Suelo natural + 2% de agua	1.752	9.02
Suelo natural + 4% de agua	1.816	11.30
Suelo natural + 6% de agua	1.820	13.03
Suelo natural + 8% de agua	1.765	15.68

El ensayo muestra cómo varía la capacidad de empaquetamiento del suelo al incrementar gradualmente el contenido de agua:

Punto de Inicio (Suelo + 2% agua): Con una humedad de 9.03%, el suelo alcanza una densidad seca de 1.752 g/cm³. En este estado, el suelo está muy seco y la fricción entre partículas impide una mejor compactación.

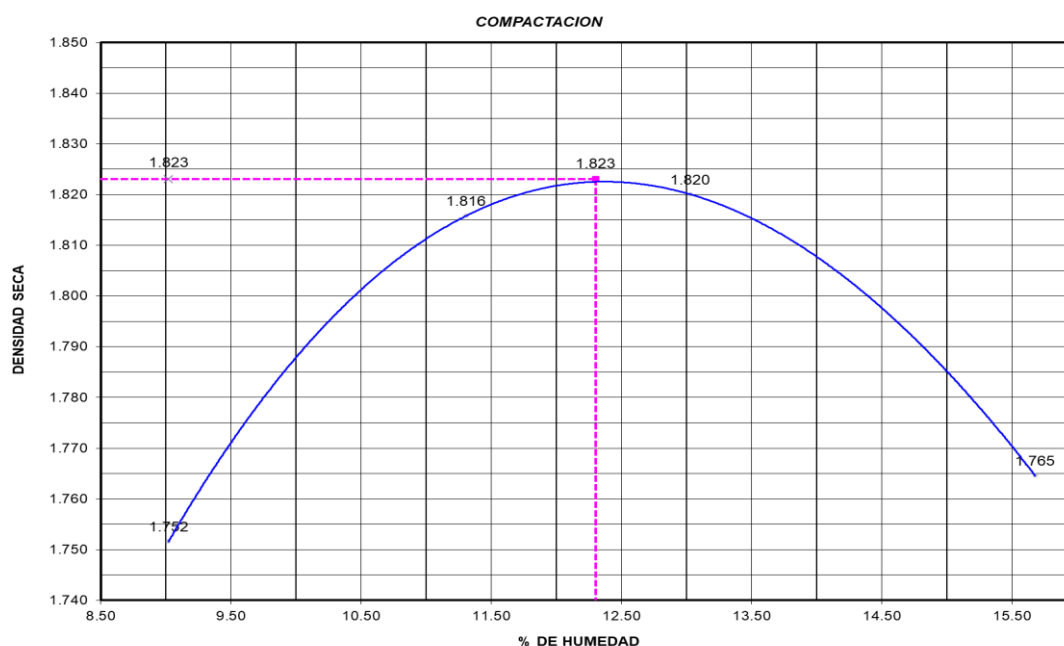
Fase de Ascenso (Suelo + 4% agua): Al aumentar la humedad a 11.30%, la densidad sube a 1.816 g/cm^3 . El agua actúa como lubricante, facilitando el reacomodo de los granos.

Punto Máximo (Suelo + 6% agua): Aquí se alcanza el Punto de Compactación Óptimo con una humedad de 13.03% y una densidad de 1.820 g/cm^3 .

Fase de Descenso (Suelo + 8% agua): Al llegar al 15,68% de humedad, la densidad cae restrictiva a $1,765 \text{ g/cm}^3$. El exceso de agua ocupa el espacio que deberían tener los sólidos, provocando que el suelo vuelva a ser inestable (estado "elástico").

Figura 28

Grafica de la curva de compactación, máxima densidad seca y optimo contenido de humedad del suelo natural



Máxima Densidad Seca (MDS): 1.823 g/cm^3 .

Óptimo Contenido de Humedad (OCH): 12.30% (aproximadamente, según la cúspide de la curva en la Figura 28).

f) Ensayo de CBR

Se citan las siguientes normas: J. E. Bowles (Ensayo n.º 19), AASHTO T-193, MTC E 132-2000, MTC E 132-2000 CBR del suelo (laboratorio) y Manual de ensayos de materiales, sección 1: Suelo.

Tabla 23

Resumen de datos obtenidos de CBR

Muestras	Máxima densidad seca (g/cm ³)	Humedad óptima (%)	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
Suelo natural	1.823	12.30	4.36	3.25

Calificación: El suelo se clasifica como "Muy Pobre" a "Pobre".

Subrasante: Se considera una subrasante inadecuada o débil. Generalmente, un suelo con CBR menor a 6% requiere una capa de mejoramiento (sustitución de suelo) o estabilización (con cal, cemento o aditivos químicos) para soportar las cargas de tráfico.

g) Expansión

Tabla 24

Resultados de la expansión

Muestras	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Suelo natural	2.10	2.49	3.39

4.1.2. Resultados de los ensayos con diferentes dosificaciones de aceite de motor reciclado

a) Prueba de Proctor

Tabla 25

Resultados de Proctor modificado con diferentes porcentajes aceite de motor reciclado

Muestras	Máxima densidad seca (g/cm ³)	Humedad óptima (%)
Suelo natural + 2% de aceite de motor	1.803	10.16
Suelo natural + 4% de aceite de motor	1.861	11.86
Suelo natural + 6% de aceite de motor	1.891	15.70
Suelo natural + 8% de aceite de motor	1.897	15.40

Se observa un incremento constante en la densidad seca a medida que aumenta el porcentaje de aceite:

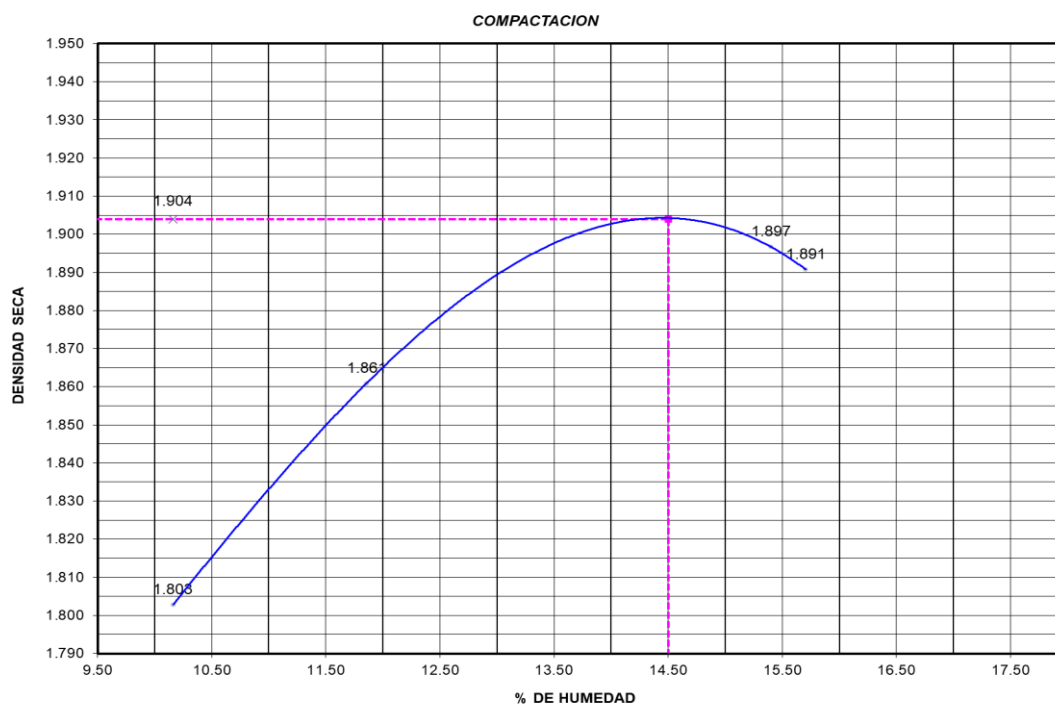
Con 2% de aceite, la densidad es de 1.803 g/cm³.

Con 8% de aceite, alcanza su valor máximo de 1.897 g/cm³.

Interpretación: El aceite de motor está actuando como un agente lubricante entre las partículas del suelo. Esto facilita el reacomodo de los granos durante la compactación, permitiendo que el suelo alcance un estado más denso (menos vacíos de aire) con el mismo esfuerzo de energía.

Figura 29

Grafica de la curva de compactación, máxima densidad seca y optimo contenido de humedad del suelo natural con aceite de motor reciclado



La curva permite identificar los valores máximos de diseño para la mezcla de suelo:

Máxima Densidad Seca (MDS): El vértice de la parábola alcanza un valor de 1.904 g/cm³. Este es el grado de compactación más alto que se puede lograr bajo las condiciones del ensayo.

Contenido de Humedad Óptimo (CHO): Para alcanzar la densidad mencionada, se requiere un contenido de humedad del 14.50%.

Los puntos marcados en la curva (1.803, 1.861, 1.891 y 1.897) corresponden a las densidades obtenidas con los diferentes porcentajes de aceites (2%, 4%, 6% y 8% respectivamente).

Optimización: El valor de 1.904 g/cm³ representa el valor teórico ideal derivado de la interpolación de los resultados experimentales.

b) Ensayo de CBR

Tabla 26

Resumen de datos obtenidos de CBR con aceite de motor reciclado

Muestras	Máxima densidad seca (g/cm ³)	Humedad óptima (%)	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
Suelo natural + aceite de motor	1.904	14.50	13.94	8.55

El uso del aceite de motor reciclado parece haber accionado como un agente estabilizador.

El suelo pasó de ser clasificado como "Muy Pobre/Pobre" a una categoría de "Regular a Bueno" para subrasantes.

Capacidad de soporte: Un CBR de 8.55% (al 95% MDS) ya cumple con los requisitos mínimos de muchas normativas viales para subrasantes de carreteras con tráfico ligero a medio, algo que el suelo natural por sí solo no lograba.

Efecto del Aceite: En geotecnia, ciertos aceites pueden reducir la permeabilidad y mejorar la cohesión aparente, lo que explica el aumento en la densidad y la resistencia a la corte medida en el ensayo CBR.

c) Expansión con aceite de motor reciclado

Tabla 27

Resultados de la expansión

Muestras	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Suelo natural + aceite de motor reciclado	2.721	3.655	4.201

4.1.3. Comparación de los resultados

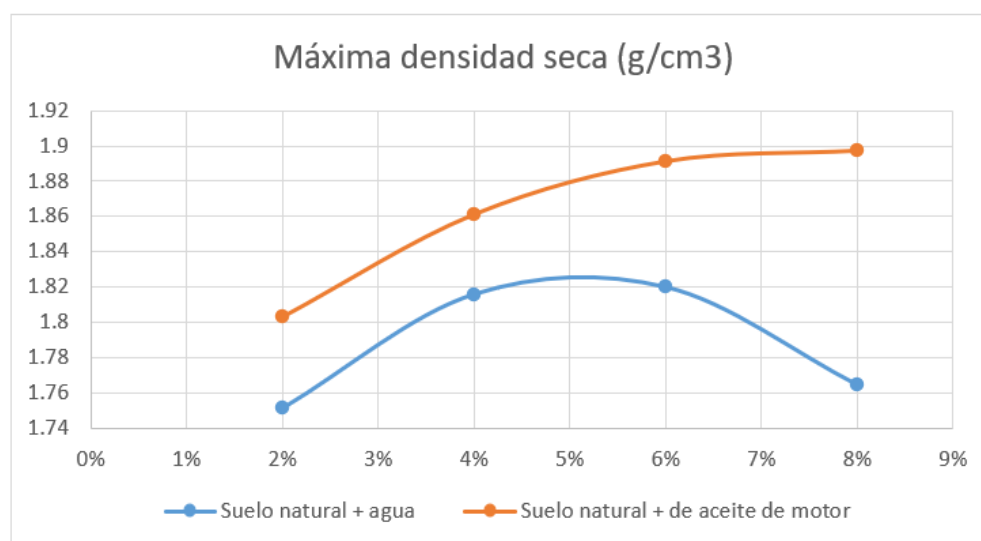
Tabla 28

Con respecto al ensayo de Proctor modificado

Muestras	Suelo natural + agua	Suelo natural + de aceite de motor
2%	1.752	1.803
4%	1.816	1.861
6%	1.820	1.891
8%	1.765	1.897

Figura 30

Comparativa de máxima densidad seca



Suelo + Agua: Sigue la curva de compactación tradicional. Al aumentar el agua, la densidad sube hasta alcanzar la Humedad Óptima, pero después de ese punto, el exceso de agua desplaza las partículas de suelo, haciendo que la densidad caiga distribuida (como se ve al pasar del 6% al 8%).

Suelo + Aceite: La curva es mucho más estable y ascendente. No presenta una caída brusca en el rango mostrado. Esto sugiere que el aceite actúa como un lubricante más persistente entre las partículas de suelo, permitiendo un reacomodo más eficiente sin generar la presión de poros que el agua produce tan rápido.

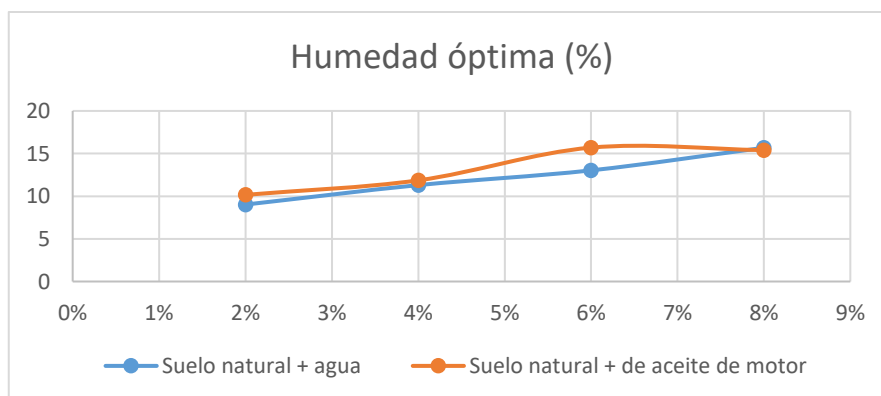
Tabla 29

Comparativa de Humedad óptima (%)

Muestras	Suelo natural + agua	Suelo natural + de aceite de motor
2%	9.02	10.16
4%	11.30	11.86
6%	13.03	15.70
8%	15.68	15.40

Figura 31

Comportamiento de Humedad Óptima % aceite reciclado vs agua



La humedad óptima representa el porcentaje de líquido necesario para alcanzar la máxima compactación del suelo. Los datos muestran las siguientes tendencias:

Valores Superiores con Aceite: En casi todos los niveles de dosificación (2%, 4% y 6%), el suelo mezclado con aceite de motor requiere un porcentaje de humedad óptimo mayor que el suelo mezclado con agua. Ambas muestras muestran un incremento en el contenido de humedad óptimo a medida que aumenta el porcentaje de la muestra (de 2% a 8%). Al llegar al 8%, los valores de ambos fluidos se igualan casi por completo, con 15.68% para el agua y 15.40% para el aceite. La mayor diferencia entre ambos se observa en la muestra del 6%, donde el aceite requiere un 15.70% frente al 13.03% del agua

Tabla 30

Comparativa de CBR

Muestras	Máxima densidad seca (g/cm ³)	Humedad óptima (%)	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
Suelo natural	1.823	12.30	4.33	3.25
Suelo natural + aceite de motor	1.904	14.50	13.94	8.55

Suelo Natural (Agua): Presenta un CBR de 4.33 al 100% de la MDS. En ingeniería de pavimentos, un CBR menor a 6% suele clasificarse como una subrasante pobre o inadecuada, lo que requeriría capas de pavimento más gruesas o estabilización adicional.

Suelo + Aceite: Alcanza un CBR de 13.94 al 100% de la MDS. Este valor eleva la categoría de la subrasante a una subrasante buena o excelente, permitiendo optimizar el diseño del paquete estructural del pavimento.

Tabla 31

Comparativa de resultados de expansión

Muestras	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Suelo natural	2.10	2.49	3.39
Suelo natural + aceite de motor reciclado	2.721	3.655	4.201

La Tabla 31 muestra cómo reacciona el suelo al esfuerzo de compactación (golpes) en términos de expansión, lo cual es crítico para evitar grietas en el pavimento:

Con el máximo esfuerzo (56 golpes), el suelo con aceite registra una expansión de 4.201 frente a los 3.39 del suelo natural. El incremento en los valores de expansión en el suelo con aceite sugiere que el fluido permite un mayor reacomodo de partículas, generando una estructura más densa y menos susceptible a cambios volumétricos por infiltración de agua externa.

4.2. Discusión de resultados

Esta tabla presenta una comparación técnica entre los resultados de una investigación previa (Moncayo, 2018) y el estudio actual, enfocándose en las propiedades mecánicas del suelo (Densidad Seca Máxima, Humedad Óptima y CBR).

A continuación, presento una propuesta de discusión de resultados organizada por variables clave:

Tabla 32

Comparación de resultados con un antecedente internacional

Resultados obtenidos de Moncayo (2018)				Resultados obtenidos de esta investigación				
Muestras	DSM	OH	CBR	Muestras	DSM	OH	CBR	
							100%	95%
4%	1.53g/cm ³	25.00%	3.00%	2%	1.803g/cm ³	10.16%		
8%	1.62g/cm ³	20.90%	3.45%	4%	1.861g/cm ³	11.86%		
12%	1.64g/cm ³	17.40%	3.95%	6%	1.891g/cm ³	15.70%		
16%	1.72g/cm ³	13.40%	7.10%	8%	1.897g/cm ³	15.40%		
				Suelo natural	1.823g/cm ³	12.30%	4.33%	3.25%
				Suelo natural + aceite de motor	1.904g/cm ³	14.50%	13.94%	8.55%

Densidad Seca Máxima (DSM): Se observa que los valores de DSM obtenidos en la investigación actual son significativamente superiores a los reportados por Moncayo (2018). Mientras que Moncayo alcanza un máximo de 1.72g/cm³ con un 16% de aditivo, el estudio actual registra valores que oscilan entre 1.803 y 1.904g/cm³.

Interpretación: El incremento en la DSM en el estudio actual sugiere un suelo con mejor acomodo de partículas o una respuesta más eficiente al proceso de compactación, especialmente al agregar "aceite de motor", el cual parece actuar como un lubricante que facilita alcanzar una mayor densidad.

Contenido de Humedad Óptima (OH): Existe una diferencia inversa notable en el comportamiento de la humedad óptima:



Moncayo (2018): A medida que aumenta el porcentaje de la muestra, la humedad óptima disminuye (de 25.00% a 13.40%).

Estudio Actual: Se observa una tendencia al aumento de la humedad óptima conforme se incrementa el porcentaje de aditivo (de 10.16% a 15.70%).

Punto Crítico: La muestra de "Suelo natural + aceite de motor" requiere un 14.50% de humedad, lo cual es considerablemente menor que los niveles iniciales de Moncayo, indicando que el estudio actual trabaja con un material menos hidrofílico o que el aceite desplaza la necesidad de agua.

Capacidad de soporte (CBR): El análisis del CBR revela el impacto más significativo del estudio:

El suelo natural del estudio actual ya posee un CBR (4,33% al 100%) superior a las primeras tres muestras de Moncayo.

La adición de aceite de motor dispara el CBR a un 13,94% (al 100% de DSM), lo cual supera casi por el doble el mejor resultado de Moncayo (7,10%).

Conclusión Técnica: La estabilización o tratamiento propuesto en la investigación actual es notable más efectivo para mejorar la capacidad portante del suelo que el método referenciado de 2018.

Los resultados indican que la metodología o los aditivos empleados en esta investigación (específicamente la mezcla con aceite de motor) optimizan las propiedades geotécnicas del suelo de manera más eficaz que los parámetros de Moncayo (2018). El aumento de la DSM y la mejora drástica en el CBR sugiere que el suelo tratado tiene un potencial mucho mayor para su uso en subrasantes



o capas de pavimento, superando las limitaciones de resistencia observadas en el antecedente citado.

Nota técnica: Según el MTC, un suelo con CBR menor al 6% se considera una subrasante "pobre" o "inadecuada" que requiere, por lo general, una capa de mejora o estabilización.

El hallazgo más importante es que tu propuesta (Suelo + Aceite) logra cruzar el umbral del 6% de CBR.

Mientras que el Suelo Natural y los resultados de Moncayo se mantienen en niveles donde el diseño del pavimento sería muy costoso (debido a la necesidad de espesores de base muy grandes), tu mezcla alcanza un 13,94%.

Esto clasifica al suelo tratado como Subrasante Buena (S3), lo que reduce el espesor requerido para las capas superiores del pavimento.



CONCLUSIONES

Primera: Se determina que la adición de aceite de motor reciclado influye favorablemente en la estabilización de suelos cohesivos en la región de Puno. La dosificación óptima de adición debe situarse entre el 2% y el 6% , siendo el 6% la cantidad más recomendable para obtener resultados técnicos satisfactorios en vías de poco tráfico.

Segunda: Se concluye que el suelo cohesivo de la subrasante en la carretera del Centro Poblado Jaquencachi presenta una baja capacidad de soporte inicial, con un valor de CBR de 3.25% (al 95% de la Máxima Densidad Seca). Esto lo clasifica como un suelo de categoría "Muy Pobre / Pobre" para fines de ingeniería vial.

Tercera: El aceite de motor reciclado mejoró la situación al lubricar las partículas del suelo y facilitar su reorganización. La densidad aumentó gradualmente hasta alcanzar una densidad máxima en seco (MDD) de 1,897 g/cm³ cuando se añadió un 8 % de aceite. Del mismo modo, el contenido de humedad ideal varió en función de la dosis, alcanzando un máximo del 15,70 % con un 6 % de aceite.

Cuarta: Se concluye que el aceite de motor reciclado funciona como un agente estabilizador eficaz, incrementando significativamente la resistencia del suelo. El valor del CBR aumentó de 3.25% a 8.55% (al 95% de la MDS) con la adición de aceite. Esta mejora permite que el suelo pase a una categoría de "Regular a Bueno", siendo apto para subrantes en carreteras de bajo volumen de tránsito.



RECOMENDACIONES

Primera: Esta investigación recomienda continuar con los estudios donde se utilice porcentajes de aceite residual de motor diésel superiores al 4%, debido a que los porcentajes inferiores no generan una varianza de mejora en las propiedades.

Segunda: Se recomienda realizar investigaciones con la aplicabilidad del aceite residual de motor diésel en distintos tipos de suelos, con propiedades y características diferentes que afectan la resistencia del suelo.

Tercera: Debería realizarse un estudio socioeconómico para determinar la relación coste-beneficio de cada estabilizador incluido en la sección sobre suelos y pavimentos del Manual de Carreteras. Además, debería compararse el uso de aceite usado de motores diésel con el de otros estabilizadores.

Cuarta: Realizar una investigación donde se compare la aplicación de 2 tipos de aceite residuales, tanto de vehículos mayores como menores.

Quinta: Se recomienda realizar una investigación de los efectos nocivos del aceite residual del motor diésel, en suelos agrícolas, aguas superficiales y subterráneas.



BIBLIOGRAFÍA

- Braja M., D. (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México: Cengage Learning.
- C. Stana, C. Andreescua y M. Toma, «Some aspects of the regeneration of used motor oil,» Procedia Manufacturing, pp. 709-713, 2018.
- Cardenas Villamizar, D. C. (2017). Evaluación de la resistencia mecánica de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con aceites lubricantes usados (Universidad Nacional de Colombia). Manizales Caldas, Colombia.
- Castro León, E. (2016). Teoría y práctica de la investigación científica. Huancayo. comunicaciones, M. d. (s.f.). Manual de ensayo de materiales (EM-2000). Lima: ICG.
- D. K. Essumang, K. Opoku, E. Koranteng y S. Mensah, «A Review of Methods for Removal of Contaminants,» Chemical Science International Journal, 2019.
- F. Jalanoca, «Mejoramiento de la subrasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021,» Universidad César Vallejo, 2021
- Glosario de términos frecuentes en Proyectos de Infraestructura Vial, edición enero 2018
- Huaquisto Cáceres, S. (2015). Efecto del aceite residual de vehículos motorizados en los factores físicos mecánicos del suelo arcilloso. Revista



Investigaciones Altoandinas, 17(2), 207-214.

<https://doi.org/10.18271/ria.2015.114>

J. Alarcón, M. Jiménez y R. Benítez, «Stabilization of soils through the use of oily sludge,» Revista Ingenieria de Construcción, vol. 35, nº 1, pp. 5-20, 2020.

J. Cabrejos y J. Murga, «Estabilización de afirmados con residuos de lubricantes vehicular en el camino rural del Centro Poblado de Cambio Puente – Chimbote,» Universidad Nacional del Santa, 2021

MINAM, «Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo,» 2017.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). Manual de carreteras , suelos ,geología, geotecnia y pavimentos, edición abril 2014, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de ensayos de materiales, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html

Moncayo Basante, J. (2018). Obtenido de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/16331/CB0577886.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos, Lima:

Dirección general de caminos y ferrocarriles, 2013.

N. Phetyim y S. Pivsa, «Prototype Co-Pyrolysis of Used Lubricant Oil and Mixed

Plastic Waste to Produce a Diesel-Like Fuel,» *energies*, 2018.

O. Temitayo, J. Sonibare y J. Abiodun, «A review on treatment methods of used

lubricating oil,» *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2018.

R. D. Del Castillo y A. Orobio, «Exploratory research on the effect of used engine

oil on a subgrade fine soil,» *Informes de la Construcción*, vol. 72, nº 558, pp. 1-8, 2020.

S. Musa, «Isolation and identification of diesel oil-degrading bacteria in used

engine oil contaminated soil,» *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 2019.

U. Adekeye, «Effect of Waste Engine Oil on the Geotechnical Properties of Soil

of Abandoned Mechanic Villages,» *African Scholar Journal of African Sustainable Development*, vol. 21, nº 2, pp. 277-286, 2021.



ANEXOS



ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA



Título: INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Método y Técnicas
Problema General: ¿Cómo influye el aceite de motor reciclado para estabilizar suelos cohesivos a nivel de la subrasante en carreteras con poco tráfico en la región de Puno, 2025?	Objetivo General: Analizar la influencia del aceite de motor reciclado para estabilizar suelos cohesivos a nivel de la subrasante en carreteras con poco tráfico en la región de Puno, 2025.	Hipótesis General: La adición de aceite de motor reciclado influye significativamente en la estabilización de los suelos cohesivos, mejorando la capacidad de soporte (CBR) y reduciendo la plasticidad de la subrasante en las carreteras de bajo tráfico en la región de Puno, 2025.	Variable Independiente Aceite de motor reciclado	Dosificación	2%, 4%, 6% y 8%	Enfoque de investigación: Cuantitativo Nivel y tipo de investigación: Según el estudio de la investigación es de nivel explicativo de tipo aplicativo Diseño de la investigación: Cuasixperimental
Problemas Específicos: ¿Cómo son las propiedades físicas y mecánicas del suelo cohesivo de la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno? ¿De qué manera influye el aceite de motor reciclado en densidad seca y contenido de humedad de la subrasante en la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno? ¿De qué manera influye el aceite de motor reciclado en el CBR de la subrasante en la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno?	Objetivos Específicos: Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo cohesivo de la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno. Analizar la influencia del aceite de motor reciclado en densidad seca y contenido de humedad de la subrasante en la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno. Analizar la influencia del aceite de motor reciclado en el CBR de la subrasante en la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno.	Hipótesis Específicos: El suelo cohesivo de la subrasante en la carretera del Centro Poblado Jaquencachi presenta bajas propiedades físicas y mecánicas. La incorporación de aceite de motor reciclado actúa como un agente lubricante que incrementa la Máxima Densidad Seca y reduce el Óptimo Contenido de Humedad del suelo de la subrasante en la carretera Jaquencachi. La adición de aceite de motor reciclado aumenta significativamente el valor del CBR de la subrasante en la carretera Jaquencachi, al actuar como un agente estabilizador e impermeabilizante del suelo cohesivo.	Variable Dependiente Estabilización de la subrasante	Propiedades físicas y mecánicas	-Densidad seca y contenido de humedad -CBR.	Población: La población está constituida por el suelo arcilloso obtenida de la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno. Muestra: Para obtener la muestra se deberá efectuar prospecciones de campo (calicata), en este caso se realizará una calicata de la carretera centro poblado Jaquencachi, el Collao llave, Región Puno, del tramo de medida 1.492 km, correspondiente. La profundidad de la calicata será como mínimo 1.50 m debajo de la subrasante proyectada. De la cual se obtendrá la muestra de suelo para los respectivos ensayos de laboratorio adicionándole porcentajes de aceite de motor reciclado de 2%, 4%, 6%. y 8%.



ANEXO 02

RNSAYOS DE LABORATORIO



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

SOLICITANTE : Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO JAQUENCACHI, EL COLLAO ILAVE, REGIÓN PUNO

MUESTRA : ESTADO NATURAL

FECHA : SETIEMBRE DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD

(ASTM D - 2216 - MTC - E 108 - NTP 400.012)

LATA	1	2	3
PESO DE LATA grs	22.36	25.63	28.45
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	125.32	123.12	126.32
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	106.00	104.65	107.95
PESO DEL AGUA grs	19.32	18.47	18.37
PESO DEL SUELO SECO grs	83.64	79.02	79.50
% DE HUMEDAD	23.10	23.37	23.11
PROMEDIO % DE HUMEDAD	23.19		

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

SOLICITANTE : Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO JAQUENCACHI, EL COLLAO ILAVE, REGIÓN PUNO

MUESTRA : ESTADO NATURAL

FECHA : SETIEMBRE DEL 2025

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(ASTM C136 NTP 400.012)

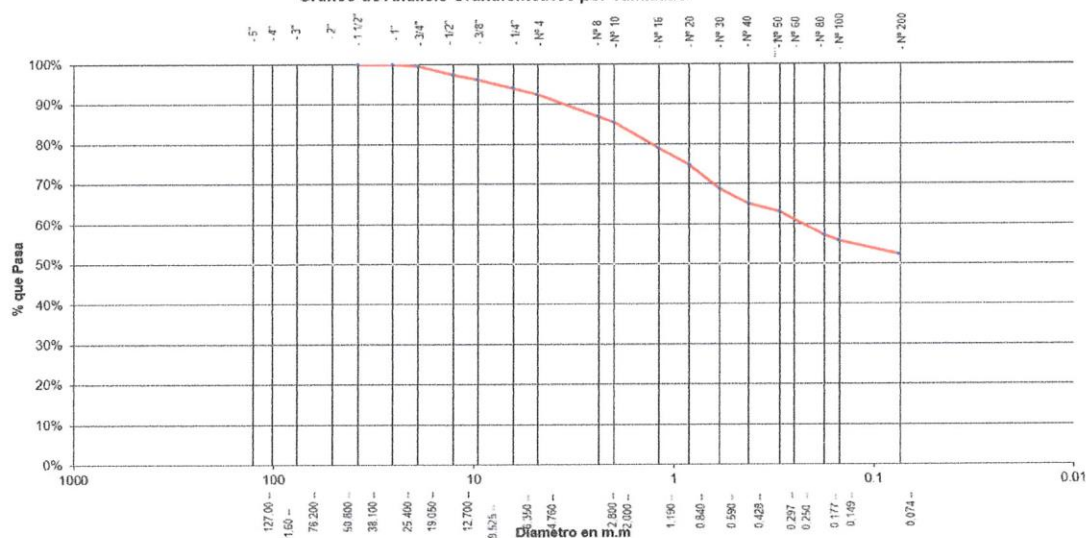
Tamices	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	Tamaño Máximo:
Ø (mm)						Modulo de Fineza AF:
5"	127.00					Modulo de Fineza AG:
4"	101.60					Equivalente de Arena:
3"	76.20					Descripción Muestra:
2"	50.80					Arcilla arenosa con mezcla de gravas
1 1/2"	38.10	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.40	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.050	5.86	0.33%	99.67%		
1/2"	12.700	39.20	2.21%	97.45%		
3/8"	9.525	21.12	1.19%	96.26%		
1/4"	6.350	37.96	2.14%	94.12%		
Nº 4	4.760	28.30	1.60%	92.52%		
Nº 8	2.380	98.05	5.54%	13.02%		
Nº 10	2.000	26.21	1.48%	14.50%		
Nº 16	1.190	116.52	6.58%	21.09%		
Nº 20	0.840	74.12	4.19%	25.27%		
Nº 30	0.590	105.41	5.96%	31.23%		
Nº 40	0.426	65.02	3.67%	34.90%		
Nº 50	0.297	36.81	2.08%	36.98%		
Nº 60	0.250					
Nº 80	0.177	104.23	5.89%	42.87%		
Nº 100	0.149	23.56	1.33%	44.20%		
Nº 200	0.074	59.71	3.37%	47.58%		
Fondo	0.01	927.92	52.42%	100.00%		
PESO INICIAL	1770.00					

SUCS =	CL	AASHTO =	A-6(4)
LL =	33.37	WT =	
LP =	21.26	WT+SAL =	
IP =	12.11	WSAL =	
IG =		WT+SDL =	
		WSDL =	
D 90=		%ARC. =	52.42
D 60=		%ERR. =	
D 30=		Cc =	
D 10=		Cu =	

Observaciones :

Arcilla arenosa con mezcla de gravas hasta 1" de consistencia semi dura y de color marrón rojizo, de mediana plasticidad con 54.31% de finos (Que pasa la malla Nº 200), Lim. Lq = 33.37% e Ind. Plast = 12.11%.

Gráfico de Análisis Granulométrico por Tamizado



Pedras mayores 3"	GRAVA	ARENA	FINA	LIMO	ARCILLA
Clasificación - ASTM					
Clasificación - AASHTO					

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

SOLICITANTE : Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO JAQUENCACHI, EL COLLAO ILAVE, REGIÓN PUNO

MUESTRA : ESTADO NATURAL

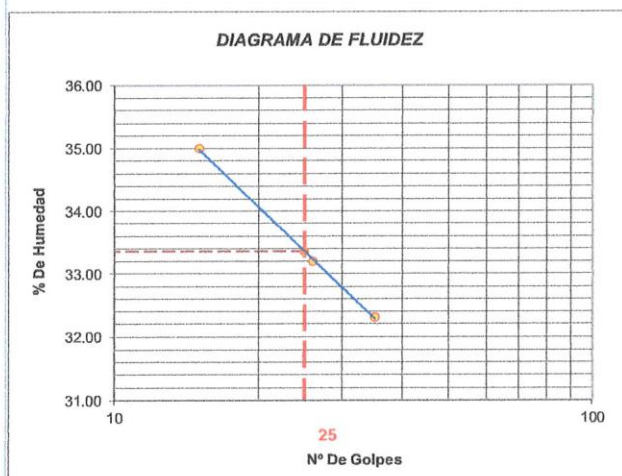
FECHA : SETIEMBRE DEL 2025

LIMITE LIQUIDO / LIMITE PLASTICO

(ASTM D - 4318)

LIMITE LIQUIDO

LATA	1	2	3
PESO DE LATA grs	23.32	25.20	20.12
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	65.32	66.23	60.25
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	54.43	56.00	50.45
PESO DEL AGUA grs	10.89	10.23	9.80
PESO DEL SUELO SECO grs	31.11	30.80	30.33
% DE HUMEDAD	35.00	33.21	32.31
NUMERO DE GOLPES	15	26	35



Índice de Flujo Fi	
Límite de contracción (%)	
Límite Líquido (%)	33.37
Límite Plástico (%)	21.26
Índice de Plasticidad Ip (%)	12.11
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-6(4)
Índice de consistencia Ic	

LIMITE PLASTICO

LATA	1	2	3
PESO DE LATA grs	16.63	16.56	14.74
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	58.65	59.56	52.41
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	51.25	52.00	45.85
PESO DEL AGUA grs	7.40	7.56	6.56
PESO DEL SUELO SECO grs	34.62	35.44	31.11
% DE HUMEDAD	21.37	21.33	21.09
% PROMEDIO		21.26	

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

SOLICITANTE : Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO JAQUENCACHI, EL COLLAO ILAVE, REGIÓN PUNO

MUESTRA : ESTADO NATURAL

FECHA : SETIEMBRE DEL 2025

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)

(ASTM D-1557)

Nº Golpes / capa: 25 Nº Capas: 5 Peso del Martillo: 10 Lbs. 10 Lbs. Vol. 942

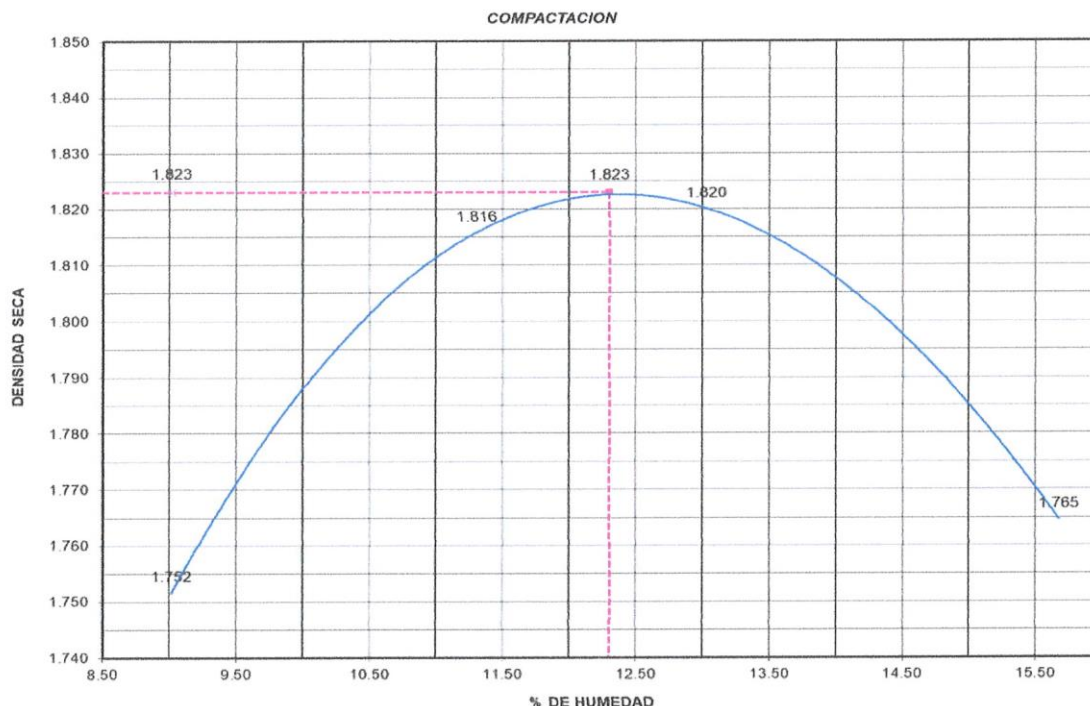
Dimensiones del Molde: Diámetro: 10.16 Altura: 11.6 Sobrecarga: 10 Lbs.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA Nº	2%	4%	6%	8%
PESO DEL TARRO (grs)	57.80	57.89	56.78	55.12
PESO DEL TARRO+MUESTRA HÚMEDA	157.76	156.76	157.67	158.01
PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs)	149.70	148.58	148.00	147.56
PESO DEL AGUA (grs)	8.06	8.18	9.67	10.45
PESO DEL MATERIAL SECO (grs)	91.9	90.7	91.2	92.4
CONTENIDO DE HUMEDAD (grs)	8.77	9.02	10.60	11.30
% PROMEDIO	9.02	11.30	13.03	15.68

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD %	9.02	11.30	13.03	15.68
PESO DEL SUELO+MOLDE (grs)	3558	3663	3697	3692
PESO DEL MOLDE (grs)	1759	1759	1759	1759
PESO DEL SUELO (grs)	1799	1904	1938	1933
DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm3)	1.910	2.021	2.057	2.041
DENSIDAD SECA (grs/cm3)	1.752	1.816	1.820	1.765
Densidad Máxima (grs/cm3)				1.823
Humedad Optima%				12.30



Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



PROYECTO : INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

SOLICITANTE : Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO JAQUENCACHI, EL COLLAO ILAVE, REGIÓN PUNO

MUESTRA : ESTADO NATURAL + ACEITE DE MOTOR

FECHA : SETIEMBRE DEL 2025

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)

(ASTM D-1557)

Nº Golpes / capa: 25 Nº Capas: 5 Peso del Martillo: 10 Lbs. Vol.: 942

Dimensiones del Molde: Diámetro: 10.16 Altura: 11.6

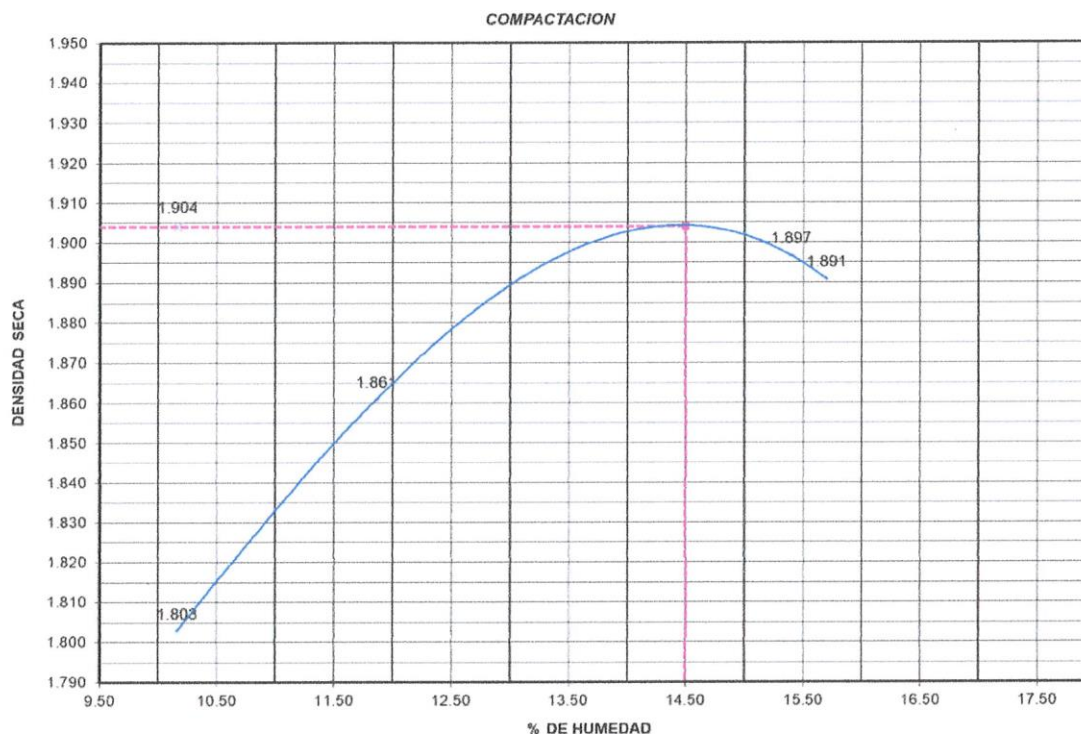
Sobrecarga: 10 Lbs.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA Nº	2% + Aceite		4% + Aceite		6% + Aceite		8% + Aceite	
PESO DEL TARRO (grs)	56.23	45.12	51.23	51.23	54.21	51.23	55.78	53.26
PESO DEL TARRO+MUESTRA HÚMEDA	159.63	160.25	158.64	157.26	160.85	161.23	159.02	158.24
PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs)	150.23	149.63	147.23	146.02	144.96	146.30	142.87	144.23
PESO DEL AGUA (grs)	9.40	10.62	11.41	11.24	15.89	14.93	16.15	14.01
PESO DEL MATERIAL SECO (grs)	94.0	104.5	96.0	94.8	90.8	95.1	87.1	91.0
CONTENIDO DE HUMEDAD (grs)	10.00	10.16	11.89	11.86	17.51	15.70	18.54	15.40
% PROMEDIO	10.16		11.86		15.70		15.40	

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD %	10.16	11.86	15.70	15.40
PESO DEL SUELO+MOLDE (grs)	3630	3720	3820	3821
PESO DEL MOLDE (grs)	1759	1759	1759	1759
PESO DEL SUELO (grs)	1871	1961	2061	2062
DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm ³)	1.986	2.082	2.188	2.189
DENSIDAD SECA (grs/cm ³)	1.803	1.861	1.891	1.897
Densidad Máxima (grs/cm ³)	1.904			
Humedad Óptima%	14.50			



Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

SOLICITANTE : Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO JAQUENCACHI, EL COLLAO ILAVE, REGIÓN PUNO

MUESTRA : ESTRADO NATURAL

FECHA : SETIEMBRE DEL 2025

VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)

(ASTM - D 1883)

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	5000	5000	5000
Peso del molde + suelo húmedo (grs)	12840	13020	13220
Peso del molde (gramos)	8820	8820	8820
Peso del suelo húmedo (grs.)	4020	4200	4400
Volumen del molde (cc)	2304.53	2304.53	2304.53
Densidad húmeda (grs./cm3)	1.74	1.82	1.91
Densidad seca (grs./cm3)	1.56	1.63	1.72
Tarro N°	1	2	3
Peso del tarro + suelo húmedo (grs.)	79.90	79.61	76.90
Peso del tarro + suelo seco (grs.)	73.16	72.98	71.06
Peso del agua (grs.)	6.74	6.63	5.84
Peso del tarro (grs.)	16.03	15.30	18.47
Peso del suelo seco (grs.)	57.13	57.68	52.59
% de humedad	11.80	11.49	11.10
PROMEDIO DE HUMEDAD			

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA	EXPANSIÓN	LECTURA	EXPANSIÓN	LECTURA	EXPANSIÓN
		DIAL	Mm.	%	DIAL	mm	%
1/10/2025	0	0	0	0	0	0	0
2/10/2025	1	0	0	0.00	0	0	0.00
3/10/2025	2	3.67	4	0.08	2.78	2.8	0.06
4/10/2025	3	4.58	5	0.10	3.16	3.2	0.07
5/10/2025	4	5	5	2.10	3	3.3	2.49

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA	CORRECCIÓN		LECTURA	CORRECCIÓN		LECTURA	CORRECCIÓN	
		DIAL	Libras.		DIAL	Libras.		DIAL	Libras.
0.000	0.00		0.00			0.00			0.00
0.025	13	38	13	11	32	11	8	24	8
0.050	34	89	30	20	54	18	20	54	18
0.075	52	133	44	36	94	31	35	91	30
0.100	71	180	60	53	136	45	51	131	44
0.150	118	296	99	86	217	72	81	205	68
0.200	172	430	143	121	304	101	120	301	100
0.250	230	573	191	156	390	130	155	388	129
0.300	275	685	228	192	479	160	191	477	159
0.400	351	872	291	279	694	231	268	667	222
0.50	391	971	324	340	845	282	365	907	302

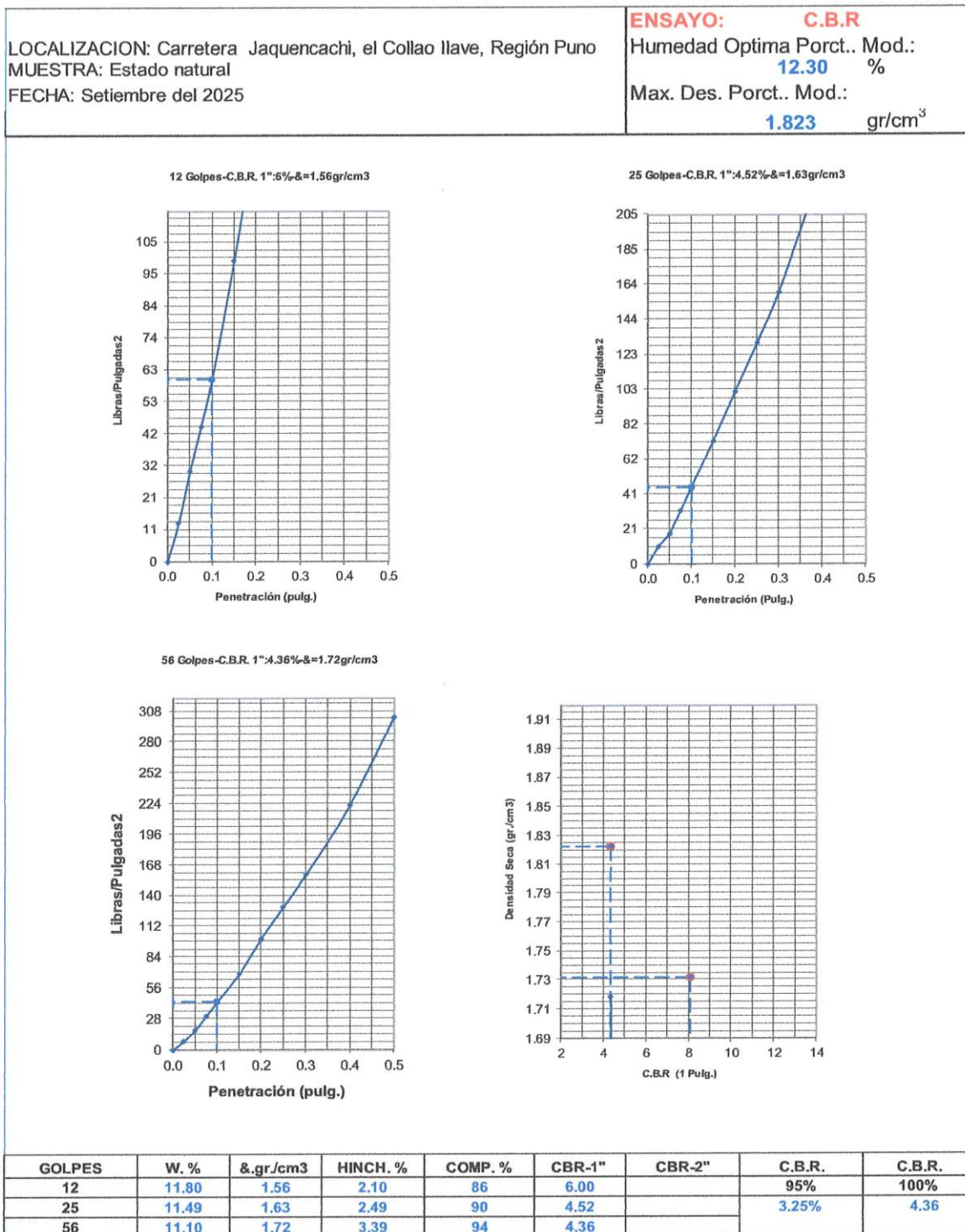
Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

SOLICITANTE : Bach. RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO JAQUENCACHI, EL COLLAO ILAVE, REGIÓN PUNO

MUESTRA : ESTRADO NATURAL + ACEITE DE MOTOR

FECHA : SETIEMBRE DEL 2025

VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)

(ASTM - D 1883)

COMPACTACIÓN

Molde N°	01	02	03
N° de golpes por capa	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	5000	5000	5000
Peso del molde + suelo húmedo (grs)	12840	13020	13220
Peso del molde (gramos)	8820	8820	8820
Peso del suelo húmedo (grs.)	4020	4200	4400
Volumen del molde (cc)	2304.53	2304.53	2304.53
Densidad húmeda (grs./cm3)	1.74	1.82	1.91
Densidad seca (grs./cm3)	1.56	1.63	1.72
Tarro N°	1	2	3
Peso del tarro + suelo húmedo (grs.)	79.90	79.61	76.90
Peso del tarro + suelo seco (grs.)	73.16	72.98	71.06
Peso del agua (grs.)	6.74	6.63	5.84
Peso del tarro (grs.)	16.03	15.30	18.47
Peso del suelo seco (grs.)	57.13	57.68	52.59
% de humedad	11.80	11.49	11.10
PROMEDIO DE HUMEDAD			

EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA	EXPANSIÓN	LECTURA	EXPANSIÓN	LECTURA	EXPANSIÓN
		DIAL	Mm.	%	DIAL	mm	%
1/10/2025	0	0	0	0	0	0	0
2/10/2025	1	0	0	0.00	0	0	0.00
3/10/2025	2	3.67	4	0.08	2.78	2.8	0.06
4/10/2025	3	4.58	5	0.10	3.16	3.2	0.07
5/10/2025	4	5	5	2.72	3	3.3	3.66

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03-N° de Golpes		
	LECTURA	CORRECCIÓN		LECTURA	CORRECCIÓN		LECTURA	CORRECCIÓN	
		DIAL	Libras.		DIAL	Libras.		DIAL	Libras.
0.000	0.00		0.00			0.00			0.00
0.025	13	38	13	11	32	11	8	24	8
0.050	34	89	30	20	54	18	20	54	18
0.075	52	133	44	36	94	31	35	91	30
0.100	71	180	60	53	136	45	51	131	44
0.150	118	296	99	86	217	72	81	205	68
0.200	172	430	143	121	304	101	120	301	100
0.250	230	573	191	156	390	130	155	388	129
0.300	275	685	228	192	479	160	191	477	159
0.400	351	872	291	279	694	231	268	667	222
0.50	391	971	324	340	845	282	365	907	302

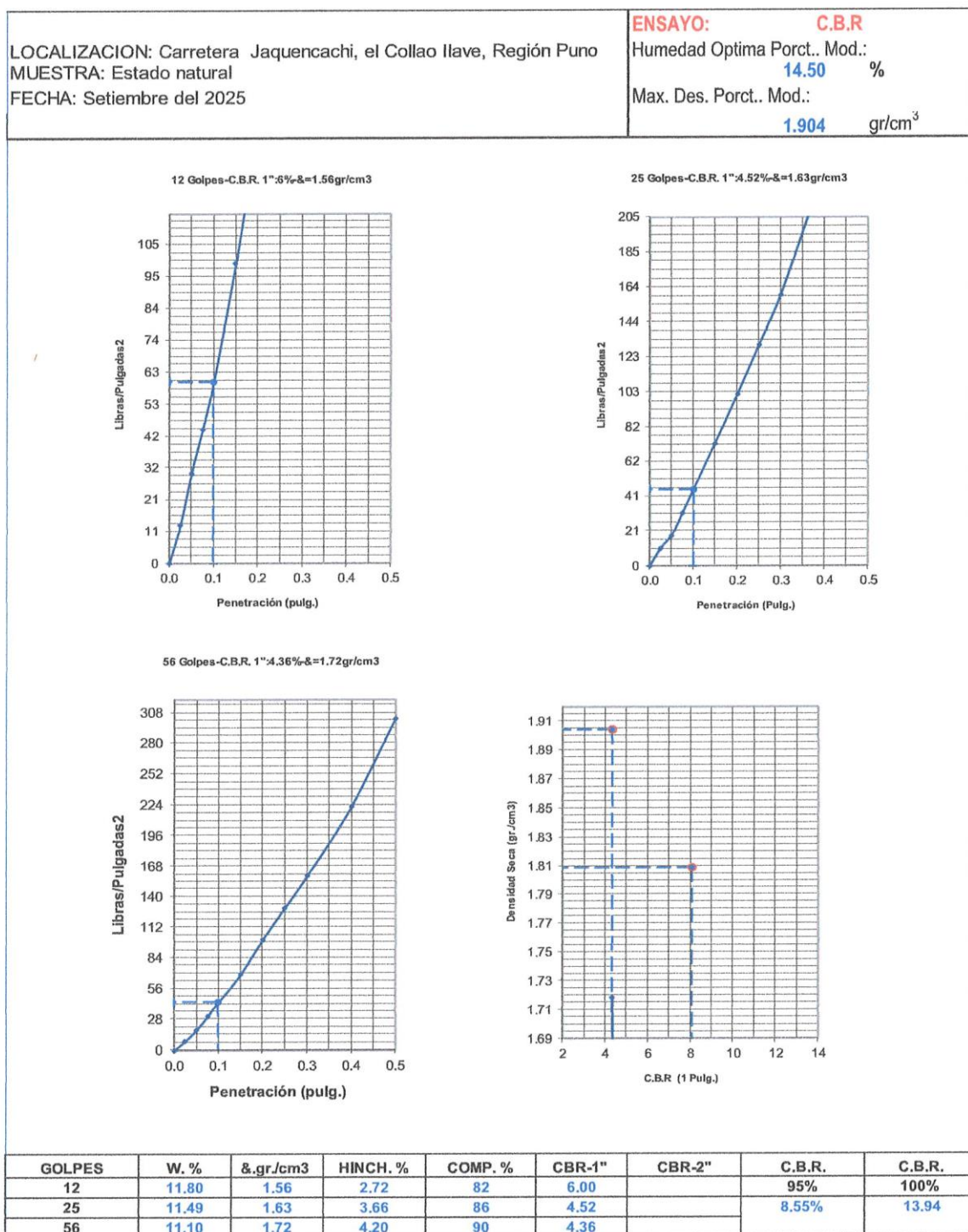
Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 28/04/2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: RYDER JOYCE CONDORI ALFARO

Dirección: Centro Poblado Jaquencachi, Distrito de Ilave - Puno

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 74213642

Teléfono: 974556920 email: rydermanjoyce@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: INFLUENCIA DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO PARA ESTABILIZAR SUELOS
COHESIVOS A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS CON POCO TRÁFICO EN LA
REGIÓN DE PUNO, 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): Estabilización, aceites de motor, densidad máxima, Proctor modificado,
CBR, subrasante

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1, 2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- ☐ Sí autorizo
- ☒ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☒ Internacional

☐ Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

28 – ABRIL – 2026

Fecha