



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA
DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN
VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ANTONI JHOSEP APAZA FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

TESIS PRESENTADA POR:


Bach. ANTONI JHOSEP APAZA FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

PRIMER MIEMBRO

:


Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO

:


Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

:


Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1759-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 13 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 15059 presentado por el (la) Bachiller: **ANTONI JOSEF APAZA FLORES** 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. **ANTONI JOSEF APAZA FLORES**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024**, 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** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- * **2do Miembro** : Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. EFRAN PARELLO SOA.**

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **ANTONI JOSEF APAZA FLORES**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Miércoles 18 de diciembre del 2024
- * **HORA** : 15:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 305 - 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.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
[Signature]
DR. MILTON QUISEP HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
[Signature]
Dr. EFRAN PARELLO SOA
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECAVAL N° 1102-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 26 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 011523 por el señor (a): **ANTONI JOSEF APAZA FLORES** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN** (borrador de tesis), el **PROVEIDO - N° 1051- 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 183- 2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ANTONI JOSEF APAZA FLORES**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024**, 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° 183- 2024 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024**, 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 merito 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): **ANTONI JOSEF APAZA FLORES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024** 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), **Dr. Efraim Parillo Sosa**.

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. PURAS

Dr. **ATHON QUISPE HUANCA**
DECAVO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. **Efraim Parillo Sosa**
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc. Archivo Investigado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 300-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-09549, presentado el señor (a) **ANTONIO JOSEEP APAZA FLORES** solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 753 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 221 -2024- del integrante del comité de investigación N°10 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): **ANTONIO JOSEEP APAZA FLORES** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON AGENTE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024**, 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 Ngr. Amalio 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° 221 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON AGENTE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024**.

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): **ANTONIO JOSEEP APAZA FLORES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON AGENTE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024** correspondiente a la línea de investigación TECNOLÓGICAS 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 **Dr. EIRAIN PARRIDO SOGA**.

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 CIENCIAS PURAS

[Signature]
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
[Signature]
Dr. EIRAIN PARRIDO SOGA
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc. Archivo 2024
Interesado (a)



EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%

Submitted to Universidad Cesar Vallejo



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ANTONI JHOSEP APAZA FLORES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70062782
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-7258-3534
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X
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	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
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	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/PAEvstH2rCu8SncP6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 - Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



Dr. Efraín Felipe Cossá
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ANTONI JHOSEP APAZA FLORES, identificado con DNI Nro. 70062782, 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:

EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE
BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE
SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

Asesorado por: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

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 09 de enero del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A mis Padres Jesús y Gaby, por su esfuerzo y dedicación, por todo el amor que me dan, por el apoyo incondicional y por ser un ejemplo de perseverancia.

Cada logro alcanzado se los dedico y debo a ustedes.

A mi familia A mi hermana Danery, tíos y primos, por todo el cariño que me muestran, por cada consejo brindado, por todos esos momentos que vivimos, pues con cada uno de ustedes aprendí algo en la vida.

Agradezco a Dios por haberme permitido formar parte de una maravillosa familia.

A mi amada, que me ha brindado su apoyo en todos estos años de aprendizaje y mucho esfuerzo para culminar esta meta.

A mis amigos Por todos los buenos momentos compartidos, por todas las experiencias que vivimos juntos y el apoyo brindado, que me permitieron crecer como persona y profesional.



AGRADECIMIENTO

Te agradezco Dios por tus constantes bendiciones, por tu amor eterno y por permitirme disfrutar de cada nuevo día.

Agradezco a mis padres, por su apoyo incondicional y su amor constante. Cada uno de ustedes ha sido un pilar en este proceso, brindándome el ánimo necesario para seguir adelante en los momentos de dificultad.

A todas las personas que, de alguna manera, han contribuido a que este trabajo se hiciera realidad, ya sea con sus consejos, su tiempo o su apoyo emocional. Cada gesto ha sido apreciado y ha sido clave para completar esta meta.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN	XI

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Análisis de la situación problemática.....	13
1.2	Planteamiento del problema.....	15
1.2.1	Problema general	15
1.2.2	Problemas específicos.....	15
1.3	Objetivos de la investigación.....	15
1.3.1	Objetivo general.....	15
1.3.2	Objetivos específicos.....	16
1.4	Justificación de la investigación	16
1.4.1	Justificación técnica.....	16
1.4.2	Justificación económica.....	16
1.4.3	Justificación social.....	17
1.4.4	Justificación ambiental.....	17
1.5	Hipótesis de la investigación	18
1.5.1	Hipótesis general	18
1.5.2	Hipótesis específicas.....	18
1.6	Variables e indicadores.....	18
1.6.1	Variable independiente.....	18
1.6.2	Variable dependiente.....	18
1.7	Plan de medición de variables.....	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO



	iv
2.1 Antecedentes de la investigación	20
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2 Antecedente nacional	22
2.1.3 Antecedente de ámbito local	24
2.2 Bases teóricas	25
2.2.1 Pavimentos flexibles	25
2.2.1.1 <i>Definición y características</i>	27
2.2.1.2 <i>Composición estructural de un pavimento flexible</i>	28
2.2.1.3 <i>Factores que afectan el desempeño de los pavimentos flexibles</i>	29
2.2.2 Estructura de la base granular.....	30
2.2.2.1 <i>Materiales granulares y propiedades mecánicas</i>	32
2.2.2.2 <i>Función y comportamiento de la base granular en pavimentos flexibles</i>	33
2.2.2.3 <i>Degradación y fallas comunes en la base granular</i>	34
2.2.3 Métodos de evaluación del estado estructural de pavimentos	35
2.2.3.1 <i>Inspección visual de deterioros</i>	36
2.2.3.2 <i>Ensayos no destructivos: deflectometría y georradar</i>	37
2.2.3.3 <i>Ensayos destructivos: extracción y análisis de muestras</i>	38
2.2.3.4 <i>Criterios de evaluación en el análisis estructural</i>	39
2.2.4 Estabilización de suelos y materiales granulares	40
2.2.4.1 <i>Principios de estabilización de suelos</i>	41
2.2.4.2 <i>Métodos convencionales de estabilización: cemento, cal y otros</i>	43
2.2.4.3 <i>Innovaciones en la estabilización de suelos: aditivos químicos</i>	44
2.2.5 Aceite sulfonado como agente estabilizador	45
2.2.5.1 <i>Características químicas del aceite sulfonado</i>	46
2.2.5.2 <i>Mecanismos de estabilización con aceite sulfonado</i>	48
2.2.5.3 <i>Ventajas y desventajas en la aplicación de aceite sulfonado</i>	49
2.2.6 Aplicación del aceite sulfonado en vías de bajo tráfico	51
2.2.7 Normativas y estándares técnicos en la estabilización de pavimentos	53
2.2.7.1 <i>Normativa nacional e internacional aplicable</i>	55
2.3 Marco conceptual.....	58
2.3.1. Aceite sulfonado	58
2.3.2. Base granular	58
2.3.3. Estabilización.....	58
2.3.4. Estado estructural.....	59
2.3.5. Pavimentos flexibles	59

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



	v
3.1	Diseño de la investigación..... 60
3.2	Método de la investigación..... 60
3.3	Nivel y tipo de la investigación 61
3.3.1	Nivel de la investigación 61
3.3.2	Tipo de la investigación 62
3.4	Población y muestra de la investigación..... 62
3.4.1	Población..... 62
3.4.2	Muestra..... 63
3.5	Técnicas e instrumentos 65
3.5.1	Técnicas 65
3.5.2	Instrumentos de recolección de datos investigación 67
3.6	Validación y confiabilidad del instrumento 69
3.6.1	Validación de los instrumentos 69
3.6.2	Confiabilidad de instrumentos 70
3.7	Plan de recolección y procesamiento de datos 71
3.7.1	Selección de calicatas 71
3.8	Procesamiento y análisis de datos 88

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	Presentación y análisis de resultados 91
4.1.1	Capacidad de soporte de la Base Granular y afirmado de la vía 99
4.1.2	Influencia de la utilización del aceite sulfonado sobre la capacidad de soporte..... 103
4.1.3	Procedimientos de repavimentación..... 114
4.2	Discusión de resultados 115
CONCLUSIONES 119	
RECOMENDACIONES 121	
REFERENCIAS..... 123	
ANEXOS 126	



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Plan de medición de variables	19
Tabla 2 Conteo de experimentos realizados.....	64
Tabla 3 Descripción de las normas utilizadas.....	67
Tabla 4 Especificaciones de las excavaciones	73
Tabla 5 Resultados de humedad en las muestras.....	91
Tabla 6 Análisis del índice de plasticidad en muestras naturales.....	95
Tabla 7 Compactación y clasificación de la base granular	96
Tabla 8 Datos de CBR en las excavaciones	99
Tabla 9 Datos de CBR en las excavaciones + 0.5% aceite sulfonado	104
Tabla 10 Datos de CBR en las excavaciones + 1.0% aceite sulfonado	107
Tabla 11 Datos de CBR en las excavaciones + 1.5% aceite sulfonado	110



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Localización de las zonas de estudio*..... 63

Figura 2 *Posicionamiento de los puntos de estudio* 72

Figura 3 *Localización de C-1*..... 73

Figura 4 *Localización de C-2*..... 74

Figura 5 *Localización de C-3*..... 75

Figura 6 *Humedad presente en las muestras* 92

Figura 7 *Granulometría de la muestra 1* 93

Figura 8 *Granulometría de la muestra 2* 93

Figura 9 *Granulometría de la muestra 3* 94

Figura 10 *Comparativa de los límites alcanzados*..... 95

Figura 11 *Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de las calicata 1* 96

Figura 12 *Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de las calicata 2* 97

Figura 13 *Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de las calicata 3* 98

Figura 14 *Comparativa de las relaciones entre humedad y densidad de los suelos*..... 98

Figura 15 *Calicata número 1- CBR*..... 100

Figura 16 *Calicata número 2 - CBR*..... 101

Figura 17 *Calicata número 3 - CBR*..... 101

Figura 18 *Comparativa de las CBR de la Base Granular natural* 102

Figura 19 *Calicata número 1- CBR + aceite sulfonado 0.5%* 104

Figura 20 *Calicata número 2 – CBR + aceite sulfonado 0.5%*..... 105

Figura 21 *Calicata número 3 – CBR + aceite sulfonado en 0.5%* 106

Figura 22 *Comparativa de las CBR de la Base Granular natural + aceite sulfonado 0.5%* 106

Figura 23 *Calicata número 1- CBR + aceite sulfonado 1.0%* 108

Figura 24 *Calicata número 2 – CBR + aceite sulfonado 1.0%*..... 108

Figura 25 *Calicata número 3 – CBR + aceite sulfonado en 1.0%* 109

Figura 26 *Comparativa de las CBR de la Base Granular natural + aceite sulfonado 1.0%* 110

Figura 27 *Calicata número 1- CBR + aceite sulfonado 1.5%* 111



	viii
Figura 28 <i>Calicata número 2 – CBR + aceite sulfonado 1.5%</i>	112
Figura 29 <i>Calicata número 3 – CBR + aceite sulfonado en 1.5%</i>	112
Figura 30 <i>Comparativa de las CBR de la Base Granular natural + aceite sulfonado 1.5%</i>	113



RESUMEN

El estudio "Evaluación del estado estructural de pavimentos flexibles a nivel de base granular para la propuesta de estabilización con aceite sulfonado en vías de la provincia de San Román 2024" tuvo como objetivo determinar la capacidad de soporte de las vías y analizar la influencia del aceite sulfonado en la mejora estructural de las bases granulares. Inicialmente, se evaluaron tres calicatas, obteniendo valores de CBR (California Bearing Ratio) en su estado natural: 76.67% al 100% y 68.38% al 95% en la calicata 1, 75.58% al 100% y 67.30% al 95% en la calicata 2, y 75.66% al 100% y 67.38% al 95% en la calicata 3. Posteriormente, se incorporaron diferentes porcentajes de aceite sulfonado (0.5%, 1.0% y 1.5%) a las muestras de material granular, donde el mejor comportamiento se observó con la adición de 1.5%, logrando un incremento significativo en los valores del CBR. La calicata 1 alcanzó un CBR de 84.39% al 100% y 76.77% al 95%, la calicata 2 obtuvo 83.59% al 100% y 75.90% al 95%, y la calicata 3 registró 84.64% al 100% y 76.42% al 95%. Finalmente, se determinó un espesor óptimo de la capa de afirmado de 141.94 mm, utilizando el valor de CBR con mejor comportamiento. Los resultados demuestran que la estabilización con aceite sulfonado mejora considerablemente las propiedades estructurales del pavimento flexible, incrementando su capacidad de soporte, durabilidad y reduciendo la necesidad de mantenimiento frecuente, lo que lo convierte en una solución eficiente y económica para las condiciones particulares de la provincia de San Román.

Palabras Clave: Base Granular, aceite sulfonado, base granular, CBR.



ABSTRACT

The study "Evaluation of the structural state of flexible pavements at the granular base level for the proposal for stabilization with sulfonated oil on roads in the province of San Román 2024" had the objective of determining the support capacity of the roads and analyzing the influence of oil. sulfonated in the structural improvement of granular bases. Initially, three pits were evaluated, obtaining CBR (California Bearing Ratio) values in their natural state: 76.67% at 100% and 68.38% at 95% in pit 1, 75.58% at 100% and 67.30% at 95% in pit 1. pit 2, and 75.66% to 100% and 67.38% to 95% in pit 3. Subsequently, different percentages of sulfonated oil (0.5%, 1.0% and 1.5%) were incorporated into the granular material samples, where the best behavior was observed with the addition of 1.5%, achieving a significant increase in CBR values. Pit 1 achieved a CBR of 84.39% at 100% and 76.77% at 95%, pit 2 obtained 83.59% at 100% and 75.90% at 95%, and pit 3 recorded 84.64% at 100% and 76.42% at 95. %. Finally, an optimal thickness of the firming layer of 141.94 mm was determined, using the CBR value with the best performance. The results demonstrate that stabilization with sulfonated oil considerably improves the structural properties of flexible pavement, increasing its support capacity, durability and reducing the need for frequent maintenance, making it an efficient and economical solution for the particular conditions of the province. of San Roman.

Keywords: Subgrade, Sulfonate, Ash, CBR.



INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial juega un papel vital en el progreso económico y social de una región al facilitar el transporte de personas y mercancías, promoviendo así el desarrollo comunitario y la solidaridad. La provincia de San Román depende significativamente de una red versátil de superficies viales, especialmente en áreas rurales donde los caminos son cruciales para conectar a las comunidades. Sin embargo, un número considerable de estas vías está experimentando una disminución en su solidez estructural, particularmente con respecto a la base granular. Esta disminución tiene un efecto adverso en su eficiencia y seguridad.

Los métodos convencionales de reparación y mantenimiento, aunque ocasionalmente son útiles, generalmente no brindan soluciones duraderas para las condiciones climáticas y de tráfico únicas presentes en un área determinada. Para mejorar la durabilidad y resistencia de los pavimentos flexibles, es posible reforzar la base granular incluyendo novedosos aditivos, como el aceite sulfonado.

El objetivo de este estudio es evaluar el estado de la capa base granular de pavimentos flexibles en determinadas vías de la provincia de San Román. El objetivo es demostrar técnicas para lograr la estabilización mediante la utilización de aceite sulfonado. La elección de incluir esta adición se basa en investigaciones iniciales que sugieren que mejora efectivamente la coherencia y la capacidad de carga de las sustancias granulares. Esto es crucial para prolongar la vida útil del pavimento.

La metodología de evaluación abarcará inspecciones visuales, pruebas en el sitio y análisis de laboratorio para evaluar los atributos actuales de la base granular y su capacidad para resistir los efectos del tráfico y las presiones ambientales. Con base en los datos recopilados, desarrollaremos una estrategia para mejorar la resiliencia de las carreteras en San Román. Este diseño considerará los atributos distintivos del área y se esforzará por



ofrecer una solución que sea tecnológicamente posible y económicamente viable para la construcción de carreteras.

Esta tesis tiene como objetivo mejorar el conocimiento técnico de la estabilización de pavimentos y hacer un aporte significativo al desarrollo sustentable de la infraestructura vial en la provincia de San Román. El objetivo es garantizar que las inversiones en infraestructura sean duraderas y efectivas.

.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

La degradación de los pavimentos flexibles es un problema frecuente a nivel mundial, que afecta la calidad general de la infraestructura vial, particularmente en áreas con condiciones climáticas severas y fluctuaciones sustanciales en el volumen de tráfico. Múltiples estudios han demostrado que la base granular de los pavimentos es muy vulnerable al deterioro, lo que lleva a una disminución de la vida útil y eficacia del pavimento. Se han desarrollado varios métodos para abordar este problema, como la estabilización del suelo y el uso de bases granulares. Una técnica de alta calidad requiere el uso de aditivos químicos, concretamente aceite sulfonado.

Las investigaciones realizadas en varios países han demostrado el potencial del aceite sulfonado para mejorar la robustez y la longevidad de la base granular. También ayuda a minimizar la deformación plástica y reforzar la cohesión del material. Sin embargo, la utilización de estas estrategias está restringida en varias situaciones debido a una experiencia técnica insuficiente, una ejecución costosa y el requisito de personalizar los métodos para adaptarlos a circunstancias locales particulares. Esto enfatiza la necesidad de realizar investigaciones que examinen la viabilidad de estas estrategias en diversas condiciones geográficas y climáticas.



Perú tiene obstáculos sustanciales en la preservación y restauración de su infraestructura vial nacional. Las carreteras, especialmente en las regiones rurales y montañosas, se degradan rápidamente como resultado de factores como condiciones climáticas extremas, mantenimiento preventivo insuficiente y uso extensivo de vehículos pesados. Las bases granulares, que son cruciales para mantener la integridad estructural de los pavimentos flexibles, pueden no satisfacer los criterios necesarios para resistir estas circunstancias, lo que acorta la vida útil de la carretera.

Aunque ha habido mejoras en los métodos de estabilización de suelos y pavimentos, Perú no ha adoptado ampliamente tecnologías novedosas como la estabilización con petróleo sulfonado. La mayoría de los esfuerzos de rehabilitación dependen de enfoques convencionales que pueden no abordar constantemente los problemas estructurales fundamentales. Evaluar y utilizar tecnología de punta es de suma importancia para mejorar la longevidad de las carreteras en el Perú, teniendo en cuenta los obstáculos únicos que se encuentran en la nación.

La provincia de San Román, ubicada en el departamento de Puno, enfrenta actualmente un escenario formidable provocado por las condiciones climáticas desfavorables y su accidentado relieve. Juliaca, ubicada dentro de esta provincia, sirve como un centro vital para el comercio y el transporte, lo que genera una cantidad significativa de tráfico, particularmente de camiones grandes que ejercen una presión significativa sobre la infraestructura vial. La mayoría de las carreteras están construidas con pavimentos flexibles y cimientos granulares. Los caminos exhiben síntomas evidentes de degradación, incluyendo agrietamiento, distorsión y erosión del material de la superficie.

La falta de mantenimiento regular, junto con el creciente uso de las vías, ha resultado en un rápido deterioro de estas vías, impactando así de manera adversa la movilidad y seguridad de los usuarios. Dentro de esta situación particular, la sugerencia es emplear aceite sulfonado como medio para estabilizar la base granular. Esto se considera

un posible remedio para mejorar la resiliencia y prolongar la vida útil de los pavimentos de la zona. Sin embargo, hay una escasez de investigaciones específicas que evalúen la eficacia de este enfoque en las circunstancias específicas de la provincia de San Román, lo que subraya la necesidad de realizar más investigaciones.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el estado estructural de pavimentos flexibles a nivel de base granular para la propuesta de estabilización con aceite sulfonado en vías de la provincia de San Román 2024?

1.2.2 Problemas específicos.

1. ¿Cuál es el estado de la capa de base granular de las vías a nivel de pavimento flexible de la provincia de San Román 2024?
2. ¿Cuál es la influencia de la adición de aceite sulfonado en el material de base granular en vías de la provincia de San Román 2024?
3. ¿Cuál es el procedimiento de repavimentación del pavimento flexible en vías de la provincia de San Román 2024?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el estado estructural de pavimentos flexibles a nivel de base granular para la propuesta de estabilización con aceite sulfonado en vías de la provincia de San Román 2024.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar el estado de la capa de base granular de las vías a nivel de pavimento flexible de la provincia de San Román 2024.
2. Analizar la influencia de la adición de aceite sulfonado en el material de base granular en vías de la provincia de San Román 2024.
3. Describir el procedimiento de repavimentación del pavimento flexible en vías de la provincia de San Román 2024.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

Evaluar el estado de los pavimentos flexibles a nivel de base granular en la provincia de San Román es fundamental desde una perspectiva técnica. Esta evaluación permite la identificación precisa de los factores subyacentes que influyen en la durabilidad y eficiencia de las carreteras. La utilización de aceite sulfonado para estabilización es un método innovador para la rehabilitación de pavimentos, que tiene la capacidad de mejorar la cohesión y longevidad de la base granular. La razón se basa en la necesidad de desarrollar soluciones técnicas que puedan adaptarse a las condiciones geográficas y climáticas específicas de la región, asegurando que los tratamientos sean efectivos y duraderos.

1.4.2 Justificación económica

Desde una perspectiva económica, la implementación de métodos de estabilización más eficientes, como la utilización de aceite sulfonado, puede resultar en una reducción significativa de los costos generales asociados con el mantenimiento y reparación de vías durante un largo período de tiempo. La mejora de la durabilidad de los pavimentos reduce la necesidad de acciones de mantenimiento periódicas, lo que genera ahorros financieros sustanciales para los entes locales y regionales. Además, el buen mantenimiento de las



carreteras es esencial para el progreso económico de la provincia de San Román, ya que facilitan el transporte fluido de mercancías y personas, promoviendo así las operaciones comerciales e impulsando las actividades creativas.

1.4.3 Justificación social

El mejoramiento de la infraestructura vial, concretamente asegurando la durabilidad de los pavimentos flexibles, tiene un impacto directo en la calidad de vida de la población de la provincia de San Román. Una mayor seguridad vial y un mejor mantenimiento contribuyen a un transporte más eficiente y reducen la probabilidad de accidentes, beneficiando así tanto a los conductores como a los peatones. Además, mejorar la infraestructura vial facilita el acceso fácil y sencillo a servicios esenciales como educación, atención médica y comercio. Esto, a su vez, mejora el bienestar general de la población y promueve la integración social en las zonas remotas y rurales de la provincia.

1.4.4 Justificación ambiental

El enfoque de estabilización con aceite sulfonado ofrece importantes beneficios ambientales al reducir la necesidad de procedimientos de restauración más invasivos que consumen mayores cantidades de recursos naturales y energía. Ampliar la vida útil de los pavimentos existentes reduce el impacto ambiental asociado con la extracción y procesamiento de materiales de construcción. Además, el acto de estabilizar la base granular mejora el control del agua de escorrentía, disminuyendo así la probabilidad de erosión y contaminación del suelo. Esto da como resultado una infraestructura vial más amigable con el medio ambiente y que preserva el entorno natural de la provincia de San Román.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 *Hipótesis general*

El estado estructural de pavimentos flexibles a nivel de base granular para la propuesta de estabilización con aceite sulfonado en vías de la provincia de San Román 2024, se encontrarán en un estado regular.

1.5.2 *Hipótesis específicas.*

1. El estado de la capa de base granular de las vías a nivel de pavimento flexible de la provincia de San Román 2024, será regular ya que no cumplirán con los estándares de calidad.
2. La influencia de la adición de aceite sulfonado en el material de base granular en vías de la provincia de San Román 2024, será positiva ya que mejorará las propiedades del material granular.
3. El procedimiento de repavimentación del pavimento flexible en vías de la provincia de San Román 2024, será de recapeo.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 *Variable independiente*

- Estado estructural de la base granular

1.6.2 *Variable dependiente*

- **Estabilización con aceite sulfonado**

Indicadores:

- Resistencia a la compresión no confinada
- Coeficiente de permeabilidad
- Deformación plástica

1.7 Plan de medición de variables

Tabla 1

Plan de medición de variables

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
ESTADO ESTRUCTURAL DE LA BASE GRANULAR	La condición estructural de la base granular pertenece al estado físico y a la capacidad de carga de la capa de material granular, como grava o piedra triturada, que se encuentra debajo de la superficie de un pavimento.	Dosificaciones de los materiales a emplearse sobre la Base Granular.	Dosificación de materiales.	Herramientas proporcionadas por el laboratorio de suelos
Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO	La estabilización con aceite sulfonado es una técnica empleada en la construcción de pisos y pavimentos para mejorar las características mecánicas del suelo, incluida su resistencia y longevidad.	Capacidades de la Base Granular	CBR	<ul style="list-style-type: none">• Equipos y herramientas de laboratorio• Fichas de control

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Para, Sheonty, (2022) en su trabajo titulado "Evaluación del desempeño de capas de base estabilizadas que comprenden relaves de TSRU y espuma de betún derivada de arenas petrolíferas de Alberta", El objetivo de este estudio es examinar la aplicación de relaves TSRU y espuma bituminosa en la construcción de pavimentos. El objetivo es reducir el espesor de la capa granular mejorando sus propiedades mediante la implementación de estos modificadores. Inicialmente, se utilizaron procedimientos de pruebas de laboratorio para analizar las propiedades de los relaves, la espuma bituminosa y los sólidos granulares de TSRU. Se introdujeron cantidades variables de espuma bituminosa en la mezcla durante el procedimiento de preparación y las mezclas resultantes se analizaron para determinar sus distintas propiedades. Se realizó una prueba de resistencia a la tracción indirecta (ITS) para evaluar las características de resistencia a la tracción y sensibilidad a la humedad de las mezclas modificadas. Se realizaron las pruebas de estabilidad de California (CBR) y Marshall para evaluar el cambio en el espesor antes y después de la modificación de TSRU. Posteriormente se determinó la alteración del espesor de la capa utilizando el criterio AASHTO 1993. Para mejorar la sensibilidad a la humedad de las muestras modificadas, se empleó cemento como aditivo. Posteriormente,

se realizó una evaluación de un Sistema de Transporte Inteligente (ITS) y se calcularon las proporciones de resistencia a la tracción (TSR) para las muestras tratadas con cemento. Además, la tolerancia al agrietamiento (CT) de las muestras se evaluó mediante la prueba de agrietamiento asfáltico por tracción indirecta (IDEAL-CT) para medir la capacidad de las mezclas modificadas con cemento para resistir el agrietamiento.

El estudio encontró que la modificación de los relaves TSRU y la espuma bituminosa puede mejorar la resistencia a la tracción de las mezclas y disminuir sustancialmente el espesor de las capas granulares. Por otro lado, la muestra tratada con TSRU exhibió un nivel significativo de sensibilidad a la humedad. La aplicación de tratamiento con cemento mejora la resistencia a la humedad de las muestras alteradas por TSRU; sin embargo, también aumenta la probabilidad de agrietamiento en las mezclas modificadas.

Seguidamente, Jia et al., (2024) En este trabajo se investiga "Optimización de mezclas y evaluación de propiedades mecánicas de loess estabilizado con cal y cenizas volantes en diversas aplicaciones de ingeniería" El objetivo principal de este estudio fue estabilizar dos tipos de suelo, a saber, suelos lateríticos (LS1 y LS2) y suelo de algodón negro, utilizando cinco estabilizadores diferentes: Terrasil, Terrabind, Cement, Road Building International grado 81 y materiales marginales como Fly. freso, fibra de arecanut y agregados. La eficacia de estas adiciones para mejorar las características de ingeniería inherentes de diferentes tipos de suelo depende de la dosis del aditivo y de los atributos particulares del suelo. El laboratorio realizó análisis de muestras de suelo con diferentes duraciones de curado para evaluar sus características fundamentales y técnicas. Las características evaluadas fueron límites de Atterberg, distribución granulométrica, densidad seca máxima (MDD), contenido de humedad óptimo (OMC), índice de carga de California (CBR), resistencia a la compresión no confinada (UCS), resistencia a la tracción indirecta (IDT), durabilidad y fatiga. y módulo resiliente (E). Los estudios se están



realizando para evaluar el impacto de agregar al suelo agregados de 12,5 mm de profundidad, junto con las cantidades óptimas de Cemento y RBI 81. El objetivo es evaluar el grado de alteración en la compactación, CBR, resistencia IDT y resiliente. pruebas de módulo. Las investigaciones empíricas demuestran una mejora significativa en las características de ingeniería de los suelos que han sido sometidos a diversos agentes estabilizantes. El programa KENPAVE se utilizó para realizar evaluaciones de tensión, deformación y daños en suelos estabilizados y no modificados. Además, se utilizó para generar secciones de diseño de pavimento tanto para pavimentos de bajo como de alto tráfico. IRC-SP-72:2007 tuvo en cuenta un CBR (California Bearing Ratio) del 3% y las condiciones de tráfico entre T4 y T7 para pavimentos con baja carga de tráfico. Los análisis se realizaron en pavimentos con una importante cantidad de tránsito, considerando un CBR (California Bearing Ratio) del 8% y volúmenes de tránsito que oscilan entre 2 y 150 millones de ejes estándar. El espesor especificado en las recomendaciones IRC-37:2012 se implementó de acuerdo con el diseño estándar.

2.1.2 Antecedente nacional

Para, Mancilla & Arias, (2023), su investigación titulada "Uso del aceite sulfonado y cemento portland para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular de un pavimento asfáltico" Tanto la guía EG-2013 como la AASHTO M147 sugieren que para garantizar la estabilidad de la base granular, las pruebas CBR deben proporcionar resultados superiores al 40%. Además, las leyes estipulan que estas normas deben cumplirse durante todo el proceso de construcción de un pavimento. El objetivo de esta investigación fue determinar la proporción ideal de cemento y la cantidad necesaria de aceite sulfonado, según lo especificado en sus especificaciones técnicas, para mejorar sus propiedades mecánicas y lograr el resultado deseado. Para lograrlo se realizaron una serie de pruebas de laboratorio utilizando una dosificación de 2% cemento Portland + 0,27 Lt/m³. La técnica de estabilización condujo a una mejora sustancial en la capacidad de carga



(CBR), incrementándola del 40,1% al 83%. En resumen, la utilización de cemento Portland y aceite sulfonado para estabilizar la base granular mejoraría significativamente las características mecánicas del suelo y cumpliría con las especificaciones del proyecto, según lo aconseja EG-2013.

Para, Chircca, (2024) en su investigación titulada "Adición del aceite sulfonado y cemento en la resistencia del material base granular con fines de pavimentación Andahuaylas Apurímac" Este estudio se está llevando a cabo en la provincia de Andahuaylas con el objetivo principal de evaluar la influencia de la incorporación de aceite sulfonado y cemento en la resistencia del material de cimentación granular utilizado para la construcción de carreteras en Andahuaylas Apurímac en el año 2023. La investigación se está llevando a cabo ahora. utilizando tanto un diseño experimental como una técnica cuasi-experimental. Para el año 2023, toda la población de Andahuaylas, Apurímac estará compuesta exclusivamente por material finamente fragmentado destinado específicamente a pavimentación. El CBR mínimo y sus parámetros relacionados, según lo definido por MTC y ASTM, se examinaron mediante observación directa y examen documentado. El análisis de datos utilizará el método de inferencia estadística, especialmente empleando una prueba de hipótesis para evaluar la eficacia de integrar aceite sulfonado y cemento en material granular con fines de pavimentación. Se empleará el análisis de varianza Anova para examinar los datos. El usuario no proporcionó ningún texto. El coeficiente de correlación de Pearson se utiliza frecuentemente para evaluar hipótesis nulas. Las principales carreteras de la provincia de Andahuaylas están sufriendo un deterioro superficial, especialmente en las rutas sin pavimentar, debido al bajo volumen de tránsito. Los resultados favorables observados en pruebas como granulometría, CBR y Proctor se pueden atribuir a la utilización de petróleo sulfonado y cemento en la cantera Sol Naciente. El material tiene una resistencia un 120% superior al umbral estándar del 50,8%. Este material es apropiado para su uso como base granular para aplicaciones de pavimentación.

Finalmente, Barreto & Taco, (2021) nos dice que el presente estudio “Estabilización de Base Granular con Aceite Sulfonado y Cemento Portland Tipo I del Camino Vecinal “Huasahuasi - Hacienda Calla”, Tarma - Junin, KM 3+000 KM 4+000” La norma peruana EG - 2013 exige el cumplimiento riguroso de estándares mínimos predeterminados para asegurar una base sólida y confiable y garantizar el cumplimiento. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto del aceite sulfonado y el cemento Portland tipo I en la estabilidad de la cimentación granular, específicamente en relación con su capacidad portante (CBR). Además, el estudio examinó las implicaciones financieras de incorporar este método en el procedimiento de construcción. Convencional. Para lograr este objetivo, se realizaron experimentos de laboratorio utilizando hojas de cálculo de Excel. Se realizaron mejoras en las dosis precisas y se aplicaron en el tramo específico de la vía “Huasahuasi – Hacienda Calla” en Tarma – Junín. Las mejoras se realizaron específicamente en el tramo de la vía comprendido entre el kilómetro 3+000 y el kilómetro 4+000. El experimento implicó la administración de componentes estabilizadores, consistentes en 0,3 litros de aceite sulfonado y 0,73 sacos de cemento por metro cúbico. Esto resultó en un aumento en la capacidad de carga (CBR) del 95% al 95%. La Velocidad Media Diaria (MDS) de una carretera aumentó un 103% en comparación con la MDS de una carretera que tenía un valor del 95% después de ser tratada con estos químicos. Además, se redujeron los gastos respecto a la forma tradicional de creación de una vía estabilizada a una tasa de S/. 125,24 por m³. En consecuencia, el gasto por implementar el método de estabilización en la vía disminuyó a S/. 87,51 por m³.

2.1.3 Antecedente de ámbito local

Para, Casanova & Carrasco, (2024), su investigación titulada “Propuesta de mejoramiento y conservación a nivel de perfil de la serviciabilidad del corredor vial



alimentador 40 del distrito de Pilcuyo, departamento de Puno” El objetivo de este proyecto es mejorar y mantener el estado de dos carreteras departamentales, específicamente PU-127 y PU-130, que ahora presentan signos visibles de deterioro y deficiencias en su infraestructura vial. El objetivo principal es evaluar y mejorar un plan para el progreso o mantenimiento de estos componentes, con la intención de mejorar la condición general del corredor vial alimentador 40. La metodología empleada en este estudio incluye el análisis de investigaciones previas sobre topografía, suelos, tráfico, geología, hidrología y aspectos socioambientales. Este estudio presenta una opción alternativa. La tecnología propuesta se adhiere a los estándares establecidos y tiene como objetivo proporcionar un enfoque rentable y ecológico para el mantenimiento de carreteras. Además, la implementación de las modificaciones propuestas se alinearán con las leyes vigentes y mejorará la seguridad y efectividad del transporte en la zona al incorporar los principios especificados en el Manual Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). La opción del pavimento micropavimento tiene una rentabilidad un 15,70% superior a la del tratamiento superficial doble. Además, la opción del pavimento con micropavimento presenta una mejora del 40 % en la durabilidad en comparación con el tratamiento de doble superficie. Además, tiene capacidad para gestionar importantes volúmenes de tráfico. Se ha destinado especialmente un volumen adicional de 1.460,88 metros cúbicos para la limpieza y desatasco. El objetivo de este esfuerzo es garantizar intervenciones consistentes en el mantenimiento y restauración de carreteras, fomentando así la seguridad, la eficacia, la inclusión y el crecimiento económico en los distritos metropolitanos a lo largo de las rutas especificadas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles son estructuras diseñadas construidas para soportar y distribuir uniformemente la carga de los vehículos, asegurando la durabilidad y el

funcionamiento eficaz de una vía. Estas construcciones se componen de capas dispuestas verticalmente. El principal determinante de la resistencia en estas estructuras es la capacidad de los materiales para transmitir tensiones mediante deformaciones elásticas. Este pavimento se clasifica como "flexible" debido a su capacidad para soportar deformaciones bajo carga sin fracturarse, característica crítica para absorber el impacto y el estrés inducido por el tráfico pesado.(Chircca, 2024)

Un pavimento flexible típico tiene tres capas principales: la capa de rodadura asfáltica, la base granular y la subbase. Estas capas se construyen sobre una Base Granular bien preparada. La capa superior está compuesta por mezclas asfálticas que proporcionan una superficie de contacto uniforme y duradera. La base granular, denominada segunda capa, está compuesta por elementos granulares que ofrecen refuerzo estructural. La subbase funciona como una capa intermedia, dispersando uniformemente las tensiones sobre la Base Granular, que finalmente soporta el peso final.

El diseño de pavimentos flexibles se basa en el principio de que las presiones verticales disminuyen al aumentar la profundidad. Esto permite la utilización de recursos deficientes en los niveles inferiores, mientras se emplean materiales excelentes en los niveles superiores. Sin embargo, para optimizar el rendimiento y la longevidad del pavimento, es fundamental elegir y compactar cuidadosamente los materiales, así como establecer prácticas efectivas de drenaje y mantenimiento en el tiempo. El pavimento flexible tiene la capacidad de absorber eficientemente cargas dinámicas y adaptarse a pequeñas deformaciones sin experimentar fallas prematuras.(Chircca, 2024)

Además, la capacidad de un pavimento flexible para adaptarse a cambios en las condiciones de estrés y temperatura es otra ventaja notable. Los pavimentos flexibles, a diferencia de los rígidos, pueden distribuir uniformemente las cargas sobre un área más grande, lo que ayuda a minimizar las grietas reflejas y otras deformaciones que podrían afectar la comodidad del usuario y la seguridad vial, particularmente cuando hay cambios bruscos de temperatura. Este tipo específico de pavimento se utiliza con frecuencia en

carreteras con diferentes niveles de tráfico debido a su versatilidad, facilidad de construcción y costo comparativamente menor en comparación con alternativas menos flexibles.

2.2.1.1 Definición y características

Los pavimentos flexibles son construcciones de ingeniería compuestas de muchas capas que están específicamente destinadas a soportar y dispersar eficazmente el peso y la presión ejercida por los vehículos, garantizando así la seguridad y el confort de los usuarios. Su categorización como "flexibles" se debe a su capacidad para soportar la deformación bajo una carga sin fracturarse, dispersando así gradualmente la tensión desde la capa superior hacia las capas subyacentes. Participar en esta actividad es crucial para absorber y dispersar eficientemente las tensiones impuestas por el tráfico, minimizando así la formación de concentraciones de tensiones que podrían conducir a fallas prematuras.(Chircca, 2024)

Un pavimento flexible consta de muchas capas, cada una de las cuales cumple determinadas funciones. La capa superior, conocida como capa de rodadura, suele estar formada por mezclas asfálticas que proporcionan una superficie duradera capaz de soportar el desgaste y las condiciones climáticas desfavorables. Además, esta capa ofrece suficiente fricción para facilitar el movimiento seguro de los automóviles. La base granular situada debajo de esta capa se compone de materiales cuidadosamente seleccionados. Su objetivo principal es distribuir uniformemente el peso sobre la subbase y la Base Granular. La integración de estas capas funciona en conjunto para resistir las presiones creadas, manteniendo un rendimiento suficiente y extendiendo la vida útil del pavimento.(Chircca, 2024)

Los pavimentos flexibles poseen la capacidad de soportar deformaciones sin fracturarse, lo que los hace particularmente ideales para áreas con condiciones climáticas fluctuantes o terreno inestable. La flexibilidad de los materiales es resultado de su elasticidad natural, que es una propiedad del asfalto y de los componentes granulares que

los componen. Además, los pavimentos flexibles permiten la dispersión progresiva de las fuerzas, lo que hace que los niveles inferiores puedan utilizar materiales de peor calidad respecto a las capas superiores. El diseño escalonado permite una asignación eficiente de recursos manteniendo la integridad estructural.(Chircca, 2024)

Otra característica vital es la sencillez de reparación y mantenimiento. Los pavimentos flexibles se pueden restaurar implementando procedimientos básicos como fresado y aplicación de capas frescas de asfalto cuando la capa superior se daña como resultado del tráfico o condiciones climáticas desfavorables. Los pavimentos flexibles son una opción financieramente eficiente a largo plazo, particularmente para carreteras con niveles de tráfico moderados a altos.(Chircca, 2024)

Los pavimentos flexibles tienen características excepcionales de distribución de cargas, minimizando así la probabilidad de encontrar deformaciones como surcos o baches. La capacidad de una carretera para soportar cargas pesadas está determinada principalmente por la calidad y densidad de los materiales utilizados en cada capa, así como por una estructura cuidadosamente diseñada que tenga subyacente.(Chircca, 2024)

Los pavimentos flexibles son adecuados para carreteras que enfrentan diversas condiciones de tráfico, abarcando tanto calles urbanas como autopistas. Su adaptabilidad, junto con la capacidad de personalizar el diseño para adaptarlo a los requisitos únicos de cada proyecto, los convierte en la opción preferida en el desarrollo de infraestructura vial contemporánea.

2.2.1.2 Composición estructural de un pavimento flexible

Un pavimento flexible consta de muchas capas que colaboran para soportar y dispersar eficazmente el peso de los vehículos. Cada capa del sistema tiene una función distinta y es fundamental diseñar y construir cuidadosamente cada capa para garantizar la longevidad y eficacia del pavimento. La disposición convencional consta de las siguientes

capas, dispuestas de arriba a abajo: la capa superior, la base granular, Al decidir el rendimiento general.(Mancilla & Arias, 2023)

La capa de desgaste, situada muy cerca de la superficie, sirve como punto de contacto inicial con la actividad vehicular y comúnmente está compuesta de mezclas asfálticas. El objetivo principal de esta superficie es ofrecer un área de contacto robusta y duradera que pueda soportar el tráfico continuo y evitar la filtración de agua hacia las capas subyacentes. Además, proporciona la resiliencia esencial para soportar el daño y el deterioro. La elección de los materiales para esta capa es crucial ya que impacta directamente en la longevidad del pavimento y en el grado de confort percibido por los usuarios.(Mancilla & Arias, 2023)

Debajo de la capa superior de la carretera, denominada capa de rodadura, se encuentra una base y una subbase y transmitir uniformemente las cargas a la subbase y, en última instancia, a la Base Granular. La función de estas capas es servir como filtro de tensiones, dando como resultado una reducción gradual de las cargas a medida que se transmiten al suelo natural subyacente. La Base Granular, que desempeña un papel crucial a la hora de proporcionar el máximo soporte al pavimento, debe someterse a una compactación y estabilización exhaustivas para eliminar asentamientos irregulares que podrían provocar deformaciones de la superficie. Garantizar una sincronización eficiente entre estas capas es crucial para lograr el máximo rendimiento del pavimento en diversas condiciones ambientales y de tráfico.(Mancilla & Arias, 2023)

2.2.1.3 Factores que afectan el desempeño de los pavimentos flexibles

Varios elementos convergen para impactar el desempeño de los pavimentos flexibles, determinando eventualmente su longevidad, resiliencia y capacidad para soportar el tráfico durante un período prolongado. La elección de los materiales utilizados en cada capa del pavimento es crucial. Los materiales de mala calidad pueden provocar un rápido

deterioro, lo que resulta en la aparición de distorsiones, fracturas y mal funcionamiento temprano.(Mancilla & Arias, 2023)

Otra consideración crucial es la magnitud del tráfico vehicular, que incluye tanto la cantidad de vehículos como las características de las mercancías que se transportan. Los pavimentos flexibles están diseñados para soportar una cantidad predeterminada de tensiones repetitivas. Sin embargo, si hay demasiado peso o se espera un aumento de tráfico, se podría acelerar el deterioro y daño de las piezas del pavimento. La estructura está sometida a graves tensiones debido al tráfico de vehículos pesados, especialmente si el diseño inicial no tuvo en cuenta suficientemente el peso que soportaría. Funcionalidad y seguridad de la carretera.(Mancilla & Arias, 2023)

Las condiciones ambientales y de mantenimiento tienen un impacto significativo en el desempeño de los pavimentos flexibles. El agua, las fluctuaciones de temperatura y los agentes químicos pueden acelerar la degradación del asfalto y los materiales granulares. El colapso de los pavimentos flexibles se debe principalmente a la intrusión de agua. Disminuye la cohesión entre las partículas y afecta la capacidad de las capas subyacentes para soportar peso. Técnicas de mantenimiento insuficientes, como no sellar grietas o posponer la reparación de la capa superior, pueden empeorar estos problemas, provocando una disminución sustancial de la vida útil del pavimento. Por lo tanto, es imperativo implementar un programa integral de monitoreo y conservación para reducir efectivamente los impactos adversos de estos elementos y extender la longevidad del pavimento.(Mancilla & Arias, 2023)

2.2.2 Estructura de la base granular

El objetivo principal de esto es proporcionar soporte estructural y distribuir uniformemente el peso de los automóviles entre las capas inferiores. La base granular está compuesta por materiales resistentes, como grava, piedra triturada o una combinación de ambos. Estos materiales deben cumplir estrictas especificaciones técnicas en términos de



tamaño de partícula, densidad y resistencia. La integridad de esta capa es crucial para preservar la longevidad y eficacia del pavimento durante su plena existencia. Pueden ocurrir deformaciones superficiales, fracturas y otras dificultades estructurales como resultado de cualquier falla en la base.(Vega & Cahuana, 2021)

Comprimir completamente la base granular es esencial desde un punto de vista estructural para garantizar que pueda soportar las cargas esperadas sin encontrar asentamientos irregulares. Para mantener la capacidad de carga de la capa es imprescindible realizar una buena compactación y utilizar un material granular adecuado, especialmente en zonas de mucho tránsito. Además, la cimentación granular tiene la función de garantizar un drenaje adecuado, reduciendo así la acumulación de agua que pueda dañar las capas subyacentes y disminuir la vida útil del pavimento. Por lo tanto, comúnmente se emplea un método para priorizar el flujo de agua hacia los drenajes laterales, disminuyendo así la probabilidad de que la estructura se inunde.(Vega & Cahuana, 2021)

La capacidad de distribución de carga de la base granular depende de su espesor, integridad del material y el nivel de compactación logrado durante la construcción. Un diseño apropiado considera no sólo estos criterios, sino también los atributos específicos del sitio, como la composición del suelo y el nivel de tráfico que encontraría el pavimento. Además, es fundamental que la base granular mantenga uniformidad en toda su extensión. Cualquier variación en la calidad del material o la compactación podría resultar en puntos débiles que podrían amenazar la integridad estructural. La base granular es un estrato crucial que influye directamente en el desempeño general del pavimento flexible. Por lo tanto, es crucial dar la máxima importancia a la planificación, construcción y mantenimiento de esta capa para garantizar la naturaleza duradera y estable del sistema vial.

2.2.2.1 Materiales granulares y propiedades mecánicas

Los materiales granulares son componentes esenciales de los pavimentos flexibles y sirven como base y subbase. Desempeñan un papel crucial en la distribución del peso de los vehículos y en el mantenimiento de la estabilidad estructural de la carretera. Por lo general, estos materiales consisten en mezclas de agregados naturales, que incluyen grava, arena, piedra triturada y, ocasionalmente, materiales reciclados. La elección de estos materiales depende de sus características mecánicas, incluida su resistencia, durabilidad y capacidad para comprimirse de manera eficiente. Estas cualidades son cruciales para garantizar que la cimentación granular pueda soportar las cargas aplicadas sin sufrir deformaciones sustanciales que puedan poner en riesgo el comportamiento del pavimento. (Vega & Cahuana, 2021)

Las tensiones de la capa de rodadura sin sufrir fallas. Este comportamiento está vinculado a las características de los agregados, incluyendo su forma, dimensiones y distribución de tamaños de partículas. Una gradación ideal mejora la organización adecuada de las partículas, mejorando así la estabilidad y la capacidad de carga de la capa. Además, la resiliencia de los materiales granulares es un aspecto crucial, ya que los áridos deben poseer la capacidad de resistir la fragmentación y la abrasión, evitando que se disuelvan ante el tráfico recurrente o condiciones climáticas adversas. (Vega & Cahuana, 2021)

La permeabilidad es una propiedad inherente que describe la capacidad de los materiales granulares para facilitar el flujo de agua. Un drenaje óptimo reduce la acumulación de humedad, lo que mitiga el riesgo de comprometer la integridad estructural de los cimientos y disminuir su capacidad para soportar peso. Por lo tanto, es imperativo elegir y comprimir cuidadosamente las sustancias granulares de una manera que facilite el drenaje rápido del agua, preservando al mismo tiempo su integridad estructural. La alta resistencia, la perfecta compactación y la eficiente capacidad de drenaje de la base granular garantizan su longevidad y eficiencia en diferentes circunstancias de servicio.

2.2.2.2 Función y comportamiento de la base granular en pavimentos flexibles

La base granular es un elemento crucial de los pavimentos flexibles, actuando como una capa intermedia que dispersa y reduce uniformemente las tensiones ejercidas por las cargas de los vehículos antes de llegar a las capas subyacentes, como la subbase y la Base Granular. El principal objetivo de éste es proporcionar refuerzo estructural, facilitando la distribución gradual de las cargas por toda la superficie del pavimento. El objetivo principal de la base granular es reducir las deformaciones y garantizar la funcionalidad a largo plazo de la capa de rodadura del pavimento. (Vega & Cahuana, 2021)

La eficacia de la base granular depende principalmente del calibre de los materiales empleados y de su meticulosa compactación durante todo el proceso de construcción. Un material granular compactado tiene la capacidad de soportar las presiones provocadas por el tráfico y distribuir las equitativamente entre las capas inferiores. La redistribución se produce a través de la interconexión y resistencia de las partículas colectivas, dando lugar a una configuración condensada que es a la vez compacta y segura. Para evitar fallos estructurales, como asentamientos diferenciales o deformaciones plásticas (surcos), que puedan comprometer la calidad y seguridad de la vía, es fundamental asegurar este comportamiento. (Vega & Cahuana, 2021)

Además, la existencia de una base granular es fundamental para facilitar el drenaje del pavimento ayudando a la eliminación del agua que pueda infiltrarse desde la superficie o provenir del suelo subyacente. Un drenaje eficaz es fundamental para minimizar. Por tanto, el rendimiento y características de la base granular están determinados tanto por su capacidad para soportar peso como por su eficiencia en la gestión del agua. Esto garantiza la estabilidad y óptimo desempeño del pavimento en diferentes condiciones climáticas y de servicio.

2.2.2.3 Degradación y fallas comunes en la base granular

El deterioro de la base granular en pavimentos flexibles es un fenómeno progresivo causado por una combinación de elementos que incluyen cargas aplicadas, penetración de agua, calidades de los materiales y fluctuaciones climáticas. Con el tiempo, estas variables impactan la estabilidad estructural de la base granular, lo que resulta en una reducción en su capacidad para soportar el peso de los automóviles y, en última instancia, provoca que el pavimento se degrade. La filtración de agua en la base granular es un fenómeno de deterioro frecuente que puede disminuir la unión y la resistencia entre las partículas del material. Esto compromete la integridad estructural y promueve el establecimiento de asentamientos y deformaciones irreversibles. (Vega & Cahuana, 2021)

Los asentamientos diferenciales ocurren frecuentemente cuando existen defectos en la base granular, como compactación insuficiente o uso de materiales deficientes, en ciertas porciones de la cimentación. Estos asentamientos pueden aparecer como anomalías o depresiones en el pavimento, comprometiendo potencialmente la seguridad y comodidad de los peatones. Otro evento frecuente es la disminución del soporte provocada por la pulverización o desintegración de los áridos. Este fenómeno surge cuando los materiales empleados carecen de la durabilidad necesaria para soportar el movimiento vehicular prolongado. Este problema es particularmente frecuente en pavimentos que utilizan agregados de baja durabilidad, ya que estos agregados tienen tendencia a desintegrarse debido a impactos repetitivos de cargas y condiciones climáticas desfavorables. (Vega & Cahuana, 2021)

La deformación plástica es un tipo común de falla que ocurre con frecuencia en la base granular. La falla de la base ocurre cuando el material de la base ya no puede conservar su forma original debido al peso de los vehículos, lo que resulta en la producción de surcos y depresiones en la superficie del pavimento. El desplazamiento observado sugiere que la cimentación granular carece de rigidez, lo que podría deberse a una compactación inadecuada o a la presencia de componentes con cualidades mecánicas

inferiores. Estas imperfecciones no sólo comprometen la estabilidad estructural del pavimento, sino que también aumentan, la utilización de materiales superiores y una metodología de construcción que garantice la estabilidad duradera de la base granular.(Vega & Cahuana, 2021)

2.2.3 Métodos de evaluación del estado estructural de pavimentos

La evaluación de la solidez estructural de los pavimentos es un proceso crucial para estimar su capacidad para soportar cargas, detectar fallas y diseñar las acciones de mantenimiento o rehabilitación necesarias. Se pueden emplear varios métodos, que abarcan enfoques tanto destructivos como no destructivos, para evaluar con precisión la condición estructural del pavimento. Estos métodos evalúan variables como la capacidad de soportar peso, la acumulación de deformaciones, el deterioro de la superficie y la solidez de las capas subyacentes, proporcionando una comprensión integral del estado actual del pavimento.(Amorós & Bendezú, 2019)

El examen visual es un enfoque comúnmente utilizado que se utiliza como primer paso en cada evaluación. Este método le permite identificar signos notables de deterioro, como grietas, crestas, hendiduras o espacios huecos. A través de un examen exhaustivo de las condiciones de la superficie, es factible obtener una evaluación precisa del alcance y magnitud del daño. Sin embargo, la inspección visual tiene limitaciones a la hora de proporcionar información específica sobre las capas internas del pavimento o su capacidad de soporte estructural. Por ello, se potencia con métodos avanzados que ofrecen un diagnóstico más exhaustivo.

Las técnicas de ensayo no destructivas, como la deflectometría de impacto (FWD) y el georadar (GPR), son esenciales para evaluar la solidez estructural de los pavimentos. La deflectometría es un método empleado para medir el grado de flexión o deformación experimentada por un pavimento bajo una carga simulada. Este enfoque proporciona datos vitales sobre la rigidez y la capacidad para soportar el peso de las distintas capas del

pavimento. Georadar utiliza ondas electromagnéticas para generar imágenes del subsuelo, lo que permite detectar áreas de vulnerabilidad, espacios vacíos o cambios en la composición de materiales. Estos métodos proporcionan una evaluación precisa sin dañar la estructura, lo que los hace ideales para pavimentos en uso. (Amorós & Bendezú, 2019)

Además, la utilización de pruebas destructivas proporciona una comprensión más completa de la excelencia de los materiales y las características mecánicas de las capas internas. Este procedimiento de prueba implica la extracción de núcleos de pavimento para análisis de laboratorio, enfocándose en características como resistencia a la compresión, cohesión de la mezcla asfáltica y granulometría de la base granular. Aunque puede ser necesaria una intervención física en el pavimento, estos métodos son cruciales para verificar la precisión de las tecnologías no destructivas y tomar decisiones informadas sobre la reparación o reconstrucción del pavimento. (Amorós & Bendezú, 2019)

2.2.3.1 Inspección visual de deterioros

La realización de un examen visual para evaluar la degradación de la superficie de un pavimento es una forma ampliamente utilizada y de fácil acceso para evaluar su estado. El proceso implica un examen exhaustivo y metódico de la superficie del pavimento, identificando y categorizando diversas formas de daño, incluyendo grietas, baches, deformaciones, surcos, desprendimientos y fisuras. Esta técnica permite una evaluación rápida y completa del grado de deterioro y la variedad de problemas, lo que la hace particularmente valiosa como herramienta de diagnóstico inicial para priorizar los remedios. Durante una inspección visual, cualquier signo de degradación se clasifica según su gravedad y la ubicación específica en la que impacta. Esto facilita el reconocimiento de patrones de falla repetitivos que podrían estar relacionados con problemas estructurales fundamentales. Si bien el examen visual puede no proporcionar detalles exactos sobre las capas internas del pavimento, es un primer paso crucial para realizar más estudios e implementar medidas de mantenimiento preventivo o correctivo. El objetivo de estas

operaciones es mejorar la durabilidad y optimizar el rendimiento de la carretera. Protocolos para garantizar la seguridad.(Amorós & Bendezú, 2019)

2.2.3.2 Ensayos no destructivos: deflectometría y georradar

Los ensayos no destructivos son una técnica ampliamente utilizada para evaluar el estado estructural de los pavimentos sin causar ningún daño a su integridad. La deflectometría de impacto (FWD) y el georadar (GPR) son métodos altamente eficientes conocidos por su capacidad para proporcionar información precisa y completa sobre el estado de las capas de pavimento y su capacidad para soportar peso. Estas tecnologías proporcionan los datos esenciales para realizar análisis estructurales y planificar intervenciones, garantizando el funcionamiento eficiente y seguro de la carretera sin generar interrupciones operativas.(Amorós & Bendezú, 2019)

La deflectometría de impacto (FWD) es un método empleado para medir dinámica simulada. Esta prueba implica utilizar equipos especializados para aplicar una fuerza regulada sobre la superficie del pavimento, simulando el peso de un automóvil en movimiento. Los sensores ubicados alrededor del lugar del impacto monitorean las variaciones que ocurren en diferentes lugares, facilitando la determinación de la rigidez de cada capa del pavimento. Utilizando estos datos, es factible evaluar la capacidad de carga del pavimento, identificar áreas particulares de debilidad y aproximar la vida útil restante. Este método es especialmente ventajoso para evaluar grandes tramos de carretera con eficacia y precisión, proporcionando datos cruciales para la toma de decisiones en el mantenimiento de pavimentos.

Georadar (GPR) es una técnica geofísica que utiliza radiación electromagnética para examinar las capas internas del pavimento. La tecnología de georadar emplea pulsos de alta frecuencia para penetrar muchas capas del pavimento, capturando y registrando los reflejos instantáneos de estas ondas. Al utilizar estos reflejos, podemos construir una representación continua de la estructura del pavimento, identificando diferencias en la

composición de los materiales, la existencia de espacios vacíos, niveles de humedad y otras anomalías subyacentes. A diferencia de la deflectometría, el georadar proporciona una vista detallada y tridimensional de la estructura. Esto permite detectar problemas ocultos que no son visibles externamente, como la degradación interna de la base o subbase. Además, el georadar facilita la evaluación de la consistencia de las capas. (Amorós & Bendezú, 2019)

Ambos tratamientos no destructivos son mutuamente ventajosos y ofrecen una evaluación integral del estado del pavimento. La deflectometría evalúa la capacidad del pavimento para soportar y responder a presiones externas, mientras que el georadar estudia principalmente la composición y el estado interno de las capas del pavimento. Al integrar estos enfoques, es posible ofrecer una evaluación muy precisa y global, minimizando así la necesidad de intervenciones intrusivas y optimizando la asignación de recursos.

2.2.3.3 Ensayos destructivos: extracción y análisis de muestras

Las pruebas destructivas implican la extracción de muestras de pavimento para investigación de laboratorio con el fin de proporcionar datos completos sobre las características mecánicas, físicas y químicas de los materiales que componen las capas estructurales. Si bien es cierto que estas técnicas implican alterar físicamente el pavimento e impactar su integridad estructural, arrojan información precisa y esencial para evaluar la calidad de los materiales y el desempeño de la estructura en escenarios de la vida real. Estas pruebas son cruciales para verificar los resultados producidos por técnicas no destructivas y para identificar imperfecciones que no son discernibles a simple vista. (Amorós & Bendezú, 2019)

La extracción de muestras del pavimento es un método que se realiza con frecuencia y que implica perforar la superficie y obtener muestras cilíndricas de material que abarcan todas las capas del pavimento, desde la capa de rodadura más superior hasta

la Base Granular subyacente. Cohesión y elasticidad de las mezclas asfálticas. Además, también se realiza una evaluación de los materiales granulares utilizados en la base y sub-base. Además, se evalúa la cohesión entre capas y se inspeccionan posibles imperfecciones, como segregación o excesiva porosidad, que puedan sugerir problemas en la construcción o deterioro del pavimento. (Amorós & Bendezú, 2019)

Otro método empleado es el uso de una fosa o fosa de inspección, que permite una evaluación más exhaustiva de las capas interiores del pavimento. En estas circunstancias, se realiza una excavación para exponer una porción de la estructura, permitiendo la recolección de muestras para análisis y evaluación directa del estado interno del pavimento. Este enfoque es muy eficaz para detectar problemas como discrepancias en la composición del material, la presencia de capas contaminadas o insuficientemente compactadas y la aparición de humedad atrapada. Los datos adquiridos de estas pruebas destructivas son cruciales para emitir juicios informados sobre la necesidad de reparar, reconstruir o reforzar el pavimento.

2.2.3.4 Criterios de evaluación en el análisis estructural

La evaluación de la estructura del pavimento se basa en un conjunto de criterios técnicos que permiten evaluar su capacidad para soportar peso, identificar posibles fallas y determinar los requisitos de mantenimiento o reparación. El objetivo de estos criterios es evaluar el grado de degradación, la capacidad residual del pavimento y su desempeño bajo ciertas circunstancias ambientales y de tránsito que experimenta. La ejecución precisa de estos criterios. (Amorós & Bendezú, 2019)

La deflexión bajo carga es un parámetro de evaluación crucial que cuantifica la distorsión del pavimento cuando se expone a una carga simulada. Este criterio se emplea principalmente en pruebas de deflectometría de impacto (FWD) para determinar la rigidez y la capacidad estructural de las capas del pavimento. Al analizar los datos de deflexión, es posible calcular parámetros como el módulo elástico y la capacidad de carga. Esto



permite identificar lugares que están experimentando una disminución en intensidad o áreas que carecen de suficiente refuerzo. Este criterio es crucial para evaluar la capacidad del pavimento para soportar cargas de vehículos y predecir su vida útil restante. (Amorós & Bendezú, 2019)

Otro factor importante a considerar es el estado de la superficie del pavimento, que se evalúa mediante inspecciones visuales y, en determinadas situaciones, mediante el empleo de tecnologías como el georadar (GPR). Este examen evalúa parámetros como la existencia y dimensiones de grietas, baches, deformaciones y otros signos aparentes de degradación. La evaluación de la cantidad y naturaleza del daño permite determinar la clasificación de la calidad del pavimento y la identificación de posibles causas de fallas. Este criterio se emplea para evaluar tanto la eficacia estructural como la seguridad y el confort del usuario, que son cruciales en la gestión del mantenimiento.

La evaluación de la calidad de los materiales es un componente vital en el análisis estructural, particularmente cuando se realizan pruebas que resultan en daños. Este criterio implica evaluar las características mecánicas de los materiales obtenidos durante la extracción del núcleo o del tajo, incluida la resistencia a la compresión, la cohesividad y la durabilidad. Además, la investigación implica evaluar la fuerza adhesiva entre capas y la dispersión de tamaños de partículas en la base granular. Los datos adquiridos de estas pruebas nos permiten validar el diseño inicial del pavimento e identificar cualquier falla en la construcción o materiales que puedan ser responsables de la degradación prematura de la estructura. (Amorós & Bendezú, 2019)

2.2.4 Estabilización de suelos y materiales granulares

La longevidad y la capacidad de soportar pesos sustanciales del pavimento, particularmente en situaciones en las que los suelos o materiales naturales no cumplen con los estándares estructurales requeridos. La estabilización se logra incluyendo productos químicos estabilizadores que alteran las características físicas y químicas del suelo o material granular, mejorando su capacidad para resistir fuerzas externas, perdurar



durante un período prolongado, adherirse entre sí y permitir un drenaje adecuado. (Amorós & Bendezú, 2019)

La elección de los procesos de estabilización variará según las condiciones particulares del proyecto. Los procedimientos mecánicos se concentran en mejorar los atributos del suelo mediante el empleo de técnicas de compactación y mezcla para lograr una mayor densidad y homogeneidad en el material. Alternativamente, los enfoques químicos implican el uso de productos químicos como cemento, cal, polímeros o estabilizadores químicos especializados como aceite sulfonado para modificar las características del suelo. Estas adiciones reaccionan químicamente con el suelo o el material granular, mejorando su rigidez y reduciendo su maleabilidad. Como resultado, la estructura se vuelve más sólida y capaz de soportar mayores presiones sin deformarse.

El procedimiento de estabilización mejora tanto la capacidad de carga como la capacidad de control de la humedad del pavimento, al tiempo que mejora su capacidad de reaccionar a los cambios climáticos. La adición de estabilizadores, como la cal, disminuye la sensibilidad. Es importante utilizar medidas preventivas para mitigar fallas como grietas o deformaciones. Además, la estabilidad mejora la eficacia de la sustancia granular a medida que se satura, lo que mejora la eficiencia del drenaje y restringe la reducción de su capacidad de carga causada por la penetración del agua. (Amorós & Bendezú, 2019)

Particularmente en regiones donde los materiales actuales son insuficientes para soportar el peso esperado. La implementación adecuada de este método no sólo mejora la longevidad.

2.2.4.1 Principios de estabilización de suelos

Los principios fundamentales de esta técnica son modificar las características del suelo para mejorar su capacidad de carga, reducir su susceptibilidad a la deformación y aumentar su resiliencia a diferentes cargas y condiciones ambientales. La estabilización es especialmente ventajosa en proyectos donde los suelos originales presentan cualidades



inadecuadas, como resistencia débil, flexibilidad excesiva o susceptibilidad a la expansión y contracción debido a cambios en los niveles de humedad.(Carrasco Lozano, 2022)

Un aspecto crucial de la estabilización es mejorar la capacidad del suelo para resistir fuerzas externas mediante la inclusión de agentes estabilizadores, como cemento, cal o ciertos aditivos químicos. Estos agentes sufren reacciones químicas con minerales y partículas del suelo, dando lugar a la creación de fuertes enlaces que mejoran la rigidez y unidad del material. Este proceso transforma un suelo de baja calidad en un material más resistente que puede soportar cargas más pesadas sin sufrir deformaciones importantes. La estabilización con cemento es un método utilizado frecuentemente para mejorar suelos arcillosos reduciendo su fluidez y aumentando su resistencia a la compresión.

Otro factor esencial es mejorar la estabilidad volumétrica del suelo, que se refiere a su capacidad para mantener su volumen y forma cuando se somete a variaciones en los niveles de humedad. Las arcillas expansivas y tipos de suelo similares tienden a experimentar cambios de volumen, lo que puede provocar la producción de grietas y asentamientos desiguales en las estructuras del pavimento. El uso de cal es un enfoque muy eficaz para abordar este problema, ya que el tratamiento con cal reduce la capacidad del suelo para absorber agua, limitando así su expansión y contracción. Además, la estabilización.

Los fundamentos de la estabilización pasan por lograr uniformidad y homogeneidad en el suelo tratado. La eficacia de la estabilización depende principalmente de la amalgama y dispersión precisa del ingrediente estabilizador en todo el volumen del suelo. La implementación irregular podría dar lugar a diferencias en las características mecánicas, lo que quizás provocaría una degradación prematura del pavimento. Por lo tanto, es imperativo seguir estrictamente métodos meticulosos de mezcla, consolidación y maduración para garantizar que el suelo estabilizado cumpla con los estándares requeridos para su utilización en la construcción de pavimentos.(Carrasco Lozano, 2022)

La estabilización de suelos es un procedimiento que transforma materiales inferiores en componentes estructurales duraderos y robustos, mejorando la efectividad de los pavimentos y reduciendo la necesidad de futuras reparaciones o modificaciones.

2.2.4.2 Métodos convencionales de estabilización: cemento, cal y otros

Son adecuados para sostener estructuras de pavimento. Esto se logra mediante el uso de agentes convencionales como cemento, cal y otros aditivos. Estos métodos dependen de la introducción de estabilizadores en el suelo para modificar su composición interna, fortalecerlo, reducir su flexibilidad y mejorar su durabilidad. La elección del enfoque depende de las cualidades del suelo y de los requisitos específicos del proyecto. (Carrasco Lozano, 2022)

El cemento se utiliza habitualmente como estabilizador debido a su eficacia para transformar suelos de baja calidad en materiales muy duraderos. Cuando el cemento se mezcla con el suelo, tiene una reacción química con el agua presente en el suelo. Esta reacción química forma sustancias químicas cementosas que unen las partículas del suelo, lo que lleva a una mejora significativa de su cohesión y rigidez. La cementación es un proceso transformador a la compresión, lo que lo hace muy ideal para crear bases y subbases de pavimento. La estabilización con cemento es un método muy eficaz para mejorar la capacidad de carga, reducir la deformación bajo carga y prolongar la vida útil de las estructuras en suelos granulares o limosos. (Carrasco Lozano, 2022)

La cal se emplea frecuentemente como estabilizador, especialmente en suelos arcillosos que exhiben una flexibilidad y expansión significativas. La cal lleva a cabo una interacción química con los minerales del suelo, lo que hace que se vuelva menos flexible y más estable en términos de volumen. Este método, conocido como enmienda del suelo con cal, soportar peso reforzando su durabilidad a largo plazo. Este enfoque se utiliza comúnmente en proyectos donde los suelos tienen problemas de expansión o cuando



existe el requisito de mejorar la estabilidad de las capas subyacentes del pavimento.(Carrasco Lozano, 2022)

Además del cemento y la cal, para la estabilidad del suelo se utilizan aditivos convencionales como cenizas volantes, escoria de horno y betún. Las cenizas volantes, un subproducto generado por la combustión del carbón, se emplean para mejorar las características cohesivas y reducir la permeabilidad del suelo. Alternativamente, la escoria de horno puede funcionar como agente cementante cuando se mezcla con suelos granulares. El betún se emplea para estabilizar suelos arenosos formando una capa hidrofóbica que mejora la durabilidad del pavimento en condiciones de humedad.

En resumen, los procedimientos de estabilización convencionales han demostrado ser métodos exitosos y confiables para mejorar las propiedades de suelos de mala calidad. El aprovechamiento óptimo de estos estabilizadores mejora tanto la capacidad de carga del suelo como el comportamiento del pavimento bajo tensión, lo que resulta en una mayor durabilidad y menores costos de mantenimiento.(Carrasco Lozano, 2022)

2.2.4.3 Innovaciones en la estabilización de suelos: aditivos químicos

Mecánicas y físicas del suelo con fines de construcción. Esta estrategia es crucial en regiones donde las condiciones del terreno son desfavorables para la construcción de edificios debido a su escasa capacidad de carga, excesiva deformabilidad o tendencia a expandirse. Los aditivos químicos alteran las propiedades, disminuyendo su tendencia a deformarse, aumentando su capacidad para resistir la compresión y disminuyendo el impacto de la humedad. Como resultado, esto conduce a una base más fuerte y duradera para carreteras, edificios y otras estructuras.

El cemento Portland y la cal se utilizan a menudo como aditivos químicos. Estas adiciones realizan interacciones químicas con los componentes minerales del suelo, lo que da como resultado la producción de estructuras cristalinas más robustas y duraderas. Los avances recientes han dado como resultado la creación de muchos materiales de



vanguardia, incluidos polímeros, enzimas y resinas sintéticas, que brindan nuevas ventajas. Estos aditivos sofisticados son particularmente ventajosos en suelos con propiedades difíciles y pueden mejorar la durabilidad y la resistencia a la erosión a largo plazo. Además, varios aditivos tienen la capacidad de mitigar el daño ambiental al ser biodegradables o al requerir menos cantidades para lograr la estabilización requerida.(Carrasco Lozano, 2022)

Otro avance destacable es la incorporación de nanomateriales en el proceso de estabilización de suelos. Los nanomateriales, debido a sus dimensiones minúsculas y su elevada reactividad superficial, pueden infiltrarse en los poros del suelo y mejorar sus características de una manera más confiable y eficiente en comparación con las adiciones tradicionales. Estos compuestos tienen la capacidad de aumentar la resistencia al corte y la capacidad de carga del suelo, incluso en pequeñas cantidades. Esto da como resultado un mejor rendimiento del suelo y menores costos de estabilización. Los avances en los aditivos químicos están transformando el enfoque de la estabilización del suelo, proporcionando opciones mejoradas, ambientalmente benignas y versátiles para diferentes condiciones geotécnicas.(Carrasco Lozano, 2022)

2.2.5 Aceite sulfonado como agente estabilizador

El aceite sulfonado es una molécula química que muestra un gran potencial como agente estabilizador en ingeniería geotécnica, particularmente para suelos con propiedades desafiantes como una fuerte expansividad o poca cohesión. El método de sulfonación se utiliza para fabricar este aceite, en el que los aceites orgánicos, generalmente obtenidos del petróleo, se someten a un tratamiento con ácido sulfúrico para incorporar grupos sulfonato a su estructura molecular. El aceite tiene grupos funcionales que le confieren cualidades tensioactivas, es decir, la capacidad de disminuir la tensión interfacial entre líquidos y sólidos, permitiéndole dispersarse uniformemente en el interior del suelo.(Carrasco Lozano, 2022)

La aplicación de aceite sulfonado al suelo altera las interacciones entre las partículas minerales, lo que resulta en una menor flexibilidad del suelo y una mayor cohesión interna. Una mayor cohesividad da como resultado una mayor resistencia al corte, lo que permite que el piso soporte cargas más grandes sin sufrir deformación. Además, el aceite sulfonado funciona como agente hidrofóbico, reduciendo la capacidad del suelo para absorber agua. Esto es especialmente ventajoso en suelos arcillosos, ya que la absorción de agua puede provocar una expansión sustancial, lo que puede provocar problemas estructurales en estructuras y pavimentos. El aceite sulfonado reduce la absorción de agua, preservando así la estabilidad volumétrica del suelo y mitiga los peligros asociados con la expansión y contracción cíclica.

Otro beneficio importante de utilizar aceite sulfonado como agente estabilizador es su capacidad para mejorar la longevidad del suelo tratado. Esta adición sirve como medida protectora del suelo, evitando el deterioro provocado por procesos que potencialmente puedan afectar su estructura. Lo logra restringiendo la infiltración de agua y otros productos químicos corrosivos. Además, la implementación de esta tecnología es bastante sencilla y puede incluirse sin problemas en los métodos tradicionales de estabilización de suelos. En resumen, el aceite sulfonado es un método muy exitoso para estabilizar el suelo. Proporciona mejoras sustanciales en la capacidad del suelo para resistir y funcionar bien en circunstancias difíciles. (Carrasco Lozano, 2022)

2.2.5.1 Características químicas del aceite sulfonado

El aceite sulfonado es un producto químico que contiene grupos sulfonato ($-\text{SO}_3^-$) en su estructura molecular. Estos grupos sulfonato se agregan mediante un proceso llamado sulfonación. Este método implica la interacción química entre aceites orgánicos, a menudo obtenidos del petróleo o de plantas, y productos químicos sulfonantes como el ácido sulfúrico o el trióxido de azufre. En consecuencia, el aceite gana características tensioactivas, lo que le permite disminuir la tensión superficial entre distintas fases, como



líquidas y sólidas. Esto mejora su capacidad para mezclarse y dispersarse en muchos entornos, como el suelo. (Ruiz, 2021)

El aceite tiene grupos sulfonato que mejoran su polaridad robusta y su capacidad para interactuar con otras sustancias iónicas y polares. La propiedad es esencial para que el aceite sulfonado se adhiera eficientemente a las partículas del suelo, particularmente a las cargadas negativamente como las arcillas, ya que actúa como estabilizador del suelo. La adsorción mejora la cohesión entre las partículas del suelo, lo que resulta en una mayor integridad mecánica y una disminución de la expansividad del suelo. Además, los grupos sulfonato que se encuentran en el aceite sulfonado poseen una propiedad hidrófila, lo que le permite interactuar eficazmente con el agua existente en el suelo. Esta interacción promueve el control de los niveles de humedad y evita la acumulación excesiva de agua, lo cual es crucial para mantener la estabilidad del suelo.

Otra propiedad química destacable del aceite sulfonado es su capacidad para funcionar como dispersante. Las cargas negativas de los grupos sulfonato hacen que se repelan entre sí, evitando que las partículas del suelo se peguen y formen agregados que puedan dañar la uniformidad del material estabilizado. Es fundamental establecer una dispersión regulada para distribuir uniformemente el aceite dentro del suelo, mejorando así su eficacia como estabilizador. (Ruiz, 2021)

En resumen, el aceite sulfonado posee atributos químicos como fuerte polaridad, capacidad tensioactiva y cualidades de dispersión, que lo convierten en una sustancia diversa y eficiente para la estabilización de suelos. Estas cualidades permiten una alteración ventajosa de las conexiones entre las partículas del suelo y mejoran su comportamiento mecánico, lo que lo convierte en una herramienta clave en ingeniería geotécnica y aplicaciones de construcción donde la estabilidad del suelo es primordial. (Ruiz, 2021)

2.2.5.2 Mecanismos de estabilización con aceite sulfonado

El proceso de estabilización del suelo con aceite sulfonado se basa en una combinación de mecanismos fisicoquímicos que trabajan juntos para mejorar las características mecánicas y estructurales del suelo. Es fundamental comprender los métodos mediante los cuales el aceite sulfonado convierte el suelo desafiante en un material más adecuado para soportar cargas y soportar condiciones climáticas adversas.

Una medida esencial es la disminución de la flexibilidad del suelo. El aceite sulfonado disminuye la capacidad de absorción de agua de las partículas del suelo, particularmente de las arcillas, al adherirse a su superficie. La limitación de la absorción de agua en el suelo restringe las expansiones y contracciones volumétricas, provocando potencialmente problemas estructurales. Es fundamental regular la plasticidad de los suelos arcillosos debido a su propensión a expandirse, lo que puede provocar importantes y perjudiciales consecuencias. (Ruiz, 2021)

Otro paso crucial es mejorar la cohesión entre las partículas del suelo. Los grupos sulfonato del aceite participan en interacciones electrostáticas con las partículas del suelo, es decir, aquellas que tienen carga negativa, como los minerales arcillosos. Esta interacción mejora la cohesividad interna del suelo, lo que lleva a una mayor resistencia contra las presiones de corte y una mayor capacidad para soportar cargas. Este método es particularmente ventajoso en suelos que de otro modo tendrían poca cohesividad y serían propensos a fallar bajo tensión. (Ruiz, 2021)

El aceite sulfonado funciona como un agente hidrofóbico, disminuyendo así la permeabilidad al agua del suelo. El petróleo crea una capa hidrofóbica sobre las partículas del suelo, actuando como una barrera que impide que el agua se filtre en el suelo. Este método ayuda a proteger el suelo contra la erosión y la inestabilidad causada por la saturación. El efecto hidrofóbico juega un papel crucial en suelos que experimentan cambios en los niveles de humedad, particularmente en regiones con fuertes lluvias o propensas a inundaciones. (Ruiz, 2021)

Además, el uso de aceite sulfonado puede mejorar la dispersión de las partículas del suelo. Las propiedades tensioactivas del aceite disminuyen la tensión superficial entre las partículas, lo que facilita una distribución más uniforme del químico en el suelo. Para garantizar la eficacia del tratamiento estabilizador en todo el volumen del suelo, es fundamental distribuir equitativamente esta combinación. Esto evitará la formación de áreas vulnerables que potencialmente podrían poner en peligro la estabilidad estructural.

En resumen, los procesos de estabilización asociados con el aceite sulfonado implican disminuir la flexibilidad, mejorar la cohesión interna, formar una barrera hidrófoba y promover la dispersión de partículas. Estos sistemas colaboran para convertir un suelo con características indeseables en una sustancia más resistente y adecuada para cumplir con los requisitos de construcción. Como resultado, mejoran la longevidad y la seguridad de la infraestructura construida encima.(Ruiz, 2021)

2.2.5.3 Ventajas y desventajas en la aplicación de aceite sulfonado

El aceite sulfonado ofrece varias ventajas cuando se utiliza como agente estabilizador de suelos, lo que lo hace muy deseable para proyectos de ingeniería geotécnica. Sin embargo, también presenta ciertos inconvenientes que requieren una evaluación cuidadosa antes de su utilización.(Ruiz, 2021)

Beneficios:

Mejora de la cohesión y resistencia al corte: Un beneficio importante del aceite sulfonado es su capacidad para mejorar la cohesión interna del suelo, fortaleciendo así su resistencia al corte. El petróleo se adhiere a las partículas del suelo, particularmente a las arcillas, creando una capa que fortalece las conexiones entre las partículas. Esto mejora la capacidad del suelo para resistir cargas sin sufrir deformaciones.(Mancilla Matos & Arias Moreno, 2023)

El aceite sulfonado reduce la flexibilidad y capacidad de expansión del suelo, especialmente en suelos arcillosos que tienen tendencia a expandirse y contraerse debido

a cambios en los niveles de humedad. Esta disminución de tamaño ayuda a aliviar problemas estructurales como fracturas y colapsos de cimientos.

Hidrofobicidad y control de la humedad: El aceite sulfonado se utiliza para reducir la permeabilidad del suelo, reduciendo así su capacidad de absorber agua. Esto es especialmente importante en regiones con alta humedad o en suelos propensos a la saturación, ya que una cantidad excesiva de agua podría socavar la integridad estructural del suelo. (Soberon Monja, 2022)

Resiliencia mejorada: la aplicación de aceite sulfonado protege el suelo contra la erosión y la penetración de agua, prolongando así la longevidad del suelo tratado. La utilización de suelos estabilizados puede mejorar en gran medida la longevidad de la infraestructura, disminuyendo así la necesidad de mantenimiento y reparaciones.

Simplicidad de aplicación: El aceite sulfonado se puede aplicar fácilmente utilizando técnicas convencionales de estabilización de suelos, lo que permite su perfecta incorporación a proyectos de construcción sin necesidad de equipos especializados ni procesos complicados.

Desventajas:

Impacto ambiental: si bien el aceite sulfonado tiene varios beneficios, su extracción del petróleo puede generar preocupaciones sobre sus ramificaciones ecológicas. La emisión de compuestos químicos durante su fabricación, utilización o descomposición puede tener impactos perjudiciales en el medio ambiente, particularmente en suelos agrícolas o lugares vulnerables. (Soberon Monja, 2022)

Gasto: La utilización de aceite sulfonado como método estabilizante puede generar costos más altos en comparación con otras opciones. Esto se debe principalmente a la necesidad de obtener el material y tal vez implementar medidas para mitigar su efecto ambiental. Esto podría potencialmente restringir su utilización en proyectos con recursos financieros limitados.

El aceite sulfonado es más eficiente en suelos arcillosos con fuerte plasticidad, pero su rendimiento puede verse reducido en suelos con otras composiciones, como arena o grava, donde la cohesión natural es mínima. Para lograr la estabilidad necesaria, puede ser imperativo utilizar combinaciones o enfoques suplementarios. (Soberon Monja, 2022)

El desafío de la reversibilidad se presenta debido a la modificación permanente de las características del suelo generada por la aplicación de aceite sulfonado. Esto hace que sea difícil revertir el procedimiento en caso de futuras alteraciones en el uso del suelo o en la ingeniería del sitio. Esto podría obstaculizar la flexibilidad de la gestión de la tierra a largo plazo.

Existe la posibilidad de una distribución desigual cuando el aceite sulfonado no se aplica de manera uniforme y consistente en todo el suelo. Una asignación inadecuada del tratamiento puede dar lugar a zonas sin tratar o tratadas de forma inadecuada, debilitando así la estabilidad del suelo y poniendo en peligro la seguridad de cualquier estructura construida sobre él. (Soberon Monja, 2022)

En resumen, el uso de aceite sulfonado como agente estabilizante tiene varios beneficios en términos de mejorar la cohesión, resistencia y durabilidad del suelo, así como también regular los niveles de humedad. Sin embargo, existen inconvenientes asociados con esto, incluidas importantes ramificaciones ecológicas, gastos exorbitantes y dificultades para garantizar una implementación uniforme y reversibilidad. Para evaluar su idoneidad para un determinado proyecto, es necesario estudiar en profundidad estos atributos.

2.2.6 Aplicación del aceite sulfonado en vías de bajo tráfico

El uso de aceite sulfonado en carreteras con poco tráfico es un enfoque novedoso para mejorar la estabilidad y la calidad del suelo. Este método resulta especialmente beneficioso en zonas rurales o vías secundarias menos transitadas, donde es fundamental disponer de un pavimento resistente y duradero. Para mejorar la longevidad del pavimento



y minimizar la necesidad de mantenimiento, es fundamental estabilizar el suelo debajo de las carreteras. Esto se hace para evitar distorsiones, fracturas o fallas tempranas en la superficie. (Soberon Monja, 2022)

El aceite sulfonado altera las características del suelo, principalmente potenciando su cohesión interna y disminuyendo su flexibilidad. Esto es particularmente crucial en suelos arcillosos o limosos que son propensos a cambios volumétricos causados por fluctuaciones en los niveles de humedad. La aplicación de aceite sulfonado al suelo da como resultado la formación de una barrera hidrofóbica que encierra las partículas del suelo. Esta barrera obstaculiza la capacidad del suelo para absorber agua y disminuye la probabilidad de expansión y contracción. Es fundamental mantener la estabilidad volumétrica en carreteras con poco tráfico, ya que los cambios de humedad pueden provocar asentamientos diferenciales, lo que puede tener un impacto perjudicial en la suavidad y seguridad de la carretera.

Además, el uso de aceite sulfonado en estos canales mejora la capacidad del suelo para resistir esfuerzos cortantes, mejorando así su capacidad de carga. Es particularmente crucial en rutas que acomodan esporádicamente vehículos importantes, como camiones agrícolas o de servicios. El aceite sulfonado mejora la resistencia de la Base Granular a los esfuerzos cortantes, evitando así la deformación permanente y preservando la integridad estructural de la vía. (Soberon Monja, 2022)

Otra característica notable del uso de aceite sulfonado es su capacidad para extender la longevidad del pavimento al proteger el suelo estabilizado de la erosión causada por el agua superficial y subterránea. El aceite sulfonado disminuye la permeabilidad del suelo, reduciendo así la penetración de agua en el suelo. Este procedimiento se implementa para reducir la probabilidad de erosión interna y la resultante pérdida de estabilidad fundamental debajo de la carretera. Es crucial priorizar la estabilidad del suelo en las carreteras menos utilizadas, ya que sus sistemas de drenaje pueden no

ser tan avanzados como los de las carreteras principales. Es crucial prevenir cualquier posible falla estructural.(Soberon Monja, 2022)

En general, el uso de aceite sulfonado en carreteras con poco tráfico es un método muy eficiente y próspero para mejorar la estabilidad y longevidad del suelo subyacente. El aceite sulfonado mejora la cohesión, disminuye la flexibilidad y proporciona protección contra la humedad, extendiendo así la durabilidad de estos canales y disminuyendo los gastos de mantenimiento a largo plazo. Esta estrategia es particularmente beneficiosa en regiones rurales y con recursos limitados, donde mejorar.

2.2.7 Normativas y estándares técnicos en la estabilización de pavimentos

Las reglas y normas técnicas de estabilización de pavimentos abarcan un conjunto de principios y criterios que garantizan el cumplimiento de los requisitos de calidad, seguridad y durabilidad en las técnicas y productos químicos empleados para la estabilización de suelos y pavimentos. Las regulaciones son cruciales para garantizar que los proyectos de infraestructura, como carreteras y senderos, se construyan de manera consistente, con calidad duradera y de manera ecológicamente sostenible. Las regulaciones pueden diferir entre naciones y regiones.(Soberon Monja, 2022)

Un componente esencial de estos criterios es la evaluación de los atributos del suelo antes de la estabilización. Las regulaciones frecuentemente exigen una evaluación integral y resistencia a la deformación. La caracterización desempeña un papel vital a la hora de elegir la técnica de estabilización más adecuada y determinar las proporciones ideales de productos químicos estabilizadores, como cal, cemento o adiciones químicas como el aceite sulfonado. Las directrices estipulan además los protocolos de prueba y el equipo necesarios que deben emplearse para realizar estas evaluaciones, garantizando la precisión y comparabilidad de los resultados.

El cumplimiento de las normas exige que los elementos estabilizadores cumplan determinados criterios técnicos. El criterio puede abarcar métricas relacionadas con la



pureza, el tamaño de las partículas, la reactividad química y la durabilidad de los estabilizadores. Al estabilizar un suelo con cemento, las normas pueden exigir el uso de un determinado tipo de cemento, como el cemento Portland tipo I, y especificar la cantidad mínima que se debe aplicar, considerando las propiedades del suelo. Las regulaciones relativas a aditivos sofisticados, como polímeros o aceite sulfonado, pueden requerir pruebas de compatibilidad con el suelo y evaluaciones de efectos ambientales. (Soberon Monja, 2022)

Otro aspecto crucial de la Ley es la creación e implementación de la combinación estabilizada. Las normas técnicas suelen incorporar instrucciones para el proceso de mezcla, la uniformidad necesaria y los criterios de solidificación y curado. Las regulaciones pueden especificar la cantidad exacta de energía de compactación requerida para obtener la densidad deseada del suelo estabilizado. Además, pueden definir las duraciones y temperaturas de curado necesarias para garantizar que la fusión alcance su máxima potencia antes de su utilización. Estos métodos aseguran que el pavimento tenga una base fuerte y duradera, capaz de soportar cargas de tráfico pesado sin deformaciones severas.

Las recomendaciones también proporcionan estándares de desempeño duraderos para pavimentos estabilizados. Esto abarca criterios para soportar la fatiga, soportar los ciclos de congelación y descongelación causados por la intemperie y resistir la erosión y la infiltración de agua. Estos criterios están determinados por la utilización de pruebas y simulaciones aceleradas para pronosticar el desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil. Esto asegura que el pavimento cumpla con los estándares de desempeño en diversas circunstancias ambientales y de carga. (Soberon Monja, 2022)

Los métodos de inspección y mantenimiento son componentes esenciales de las normas relativas a la estabilidad de los pavimentos. Estas recomendaciones describen los métodos de inspección visual y técnica utilizados para evaluar la calidad del pavimento a medida que cambia con el tiempo. Además, incorporan los protocolos imprescindibles para evitar y solucionar las incidencias de mantenimiento que puedan producirse, garantizando

la excelencia general y el estado de la vía. Las regulaciones pueden incluir pautas sobre la frecuencia de las inspecciones y criterios de intervención, como el umbral permisible para grietas o deformaciones que requieran reparaciones. (Soberon Monja, 2022)

En resumen, las directrices y estándares técnicos en estabilización de pavimentos ofrecen un marco completo para garantizar la implementación eficiente y segura de las operaciones de estabilización. A través de la implementación de pautas relacionadas con la caracterización del suelo, selección de materiales, procedimientos de mezcla y compactación y criterios de desempeño a largo plazo, estas normas garantizan que los pavimentos estabilizados posean la durabilidad y resistencia necesarias para soportar las condiciones ambientales y de tráfico durante toda su vida útil.

2.2.7.1 Normativa nacional e internacional aplicable

La legislación relativa a la estabilización de suelos y pavimentos, tanto a nivel nacional como internacional, consiste en una extensa recopilación de normas, estándares y recomendaciones. Seguridad y sostenibilidad de los proyectos de construcción e infraestructura. Estas normas son fundamentales para garantizar que las técnicas y materiales utilizados en la estabilización de suelos cumplen con los requisitos requeridos en términos de eficacia, durabilidad y conservación ambiental.

Regulaciones a nivel nacional:

Cada país tiene ciertos criterios que determinan la estabilidad de suelos y pavimentos. Estas leyes suelen ser desarrolladas por entidades gubernamentales o grupos especializados en el ámbito de la construcción y el transporte. El objetivo de estas legislaciones nacionales es centrarse y considerar explícitamente las distintas condiciones geotécnicas y climáticas de cada lugar, junto con los materiales y métodos de construcción que se emplean ampliamente en esa región. (Balaguera et al., 2018)

Los países latinoamericanos han establecido regulaciones nacionales que brindan pautas detalladas para la evaluación del suelo, la elección de materiales estabilizadores



(como cemento, cal o aditivos químicos) y los procesos involucrados en el diseño y ejecución de proyectos de construcción. Estos criterios suelen estar registrados en normas técnicas de construcción y especificaciones de obras viales, como las Normas de Construcción de Carreteras o los Códigos de Construcción. Estas leyes establecen los estándares mínimos para la calidad y durabilidad de los pavimentos. (Balaguera et al., 2018)

Además, las regulaciones nacionales pueden incluir disposiciones ambientales, como métodos para evaluar los impactos ecológicos de los proyectos de estabilización, así como limitaciones a la eliminación de desechos y el uso de materiales reciclables. Estas directrices garantizan que los proyectos se implementen de manera sostenible y con un impacto ecológico mínimo.

Las relaciones internacionales están reguladas por reglas

A nivel internacional, varias organizaciones proporcionan estándares ampliamente reconocidos y utilizados con frecuencia para proyectos que incluyen la estabilización de suelos y pavimentos. Tres organizaciones muy influyentes incluyen. Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO).

ASTM International es conocida por su amplia variedad de normas técnicas que cubren todos los aspectos de la estabilización del suelo, como la caracterización del suelo (p. ej., ASTM D4318 para los límites de Atterberg) y métodos de estabilización (p. ej., ASTM D558 para la compactación del suelo). Estos estándares son aplicables a nivel mundial. (Balaguera et al., 2018)

La ISO ofrece normas que cubren varios dominios, incluida metodologías específicas para probar y evaluar suelos y materiales de construcción. Estos estándares son reconocidos globalmente por gobiernos de todo el mundo para estandarizar las técnicas de construcción y garantizar que los productos y servicios cumplan con los requisitos internacionales.



AASHTO es muy relevante para proyectos que involucran infraestructura de carreteras debido a que proporciona criterios técnicos exactos y procesos de prueba que se emplean en la construcción de carreteras y puentes. Las directrices de la AASHTO han sido ampliamente adoptadas en América del Norte y sirven como estándar para muchos otros países, especialmente aquellos que buscan adherirse a las normas estadounidenses de construcción e ingeniería. (Balaguera et al., 2018)

La convergencia regulatoria es el acto de formular regulaciones nacionales que estén en línea con las normas globales, teniendo en cuenta las necesidades y circunstancias locales. Esta convergencia garantiza que la ley, aunque sea única para cada nación, esté alineada con los estándares globales. Por ejemplo, un país puede optar por adoptar una norma ASTM o ISO para la estabilización del suelo, pero realizar ajustes para adaptarse a ciertas condiciones locales como temperatura, humedad o accesibilidad de los materiales.

Cumplimiento de normativa y supervisión:

Las agencias gubernamentales y las organizaciones certificadoras supervisan el cumplimiento de estas regulaciones mediante la realización de inspecciones y auditorías para garantizar que los proyectos cumplan con los estándares establecidos. El proceso de supervisión es crucial para garantizar la excelencia de los proyectos y proteger la seguridad pública y el medio ambiente. (Balaguera et al., 2018)

Tanto a nivel nacional como internacional, las directrices establecen un marco integral para la planificación, ejecución y supervisión de proyectos de infraestructura, con especial énfasis en la estabilización de suelos y pavimentos. Estas reglas garantizan que los proyectos se lleven a cabo con el más alto nivel de cumplimiento de los estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad, al mismo tiempo que tienen en cuenta las regulaciones locales y cumplen con los estándares globales.

2.3 Marco conceptual

2.3.1. Aceite sulfonado

El aceite sulfonado es un compuesto químico empleado como estabilizador de suelos. Funciona alterando las características fisicoquímicas de las partículas del suelo, mejorando su cohesión y disminuyendo su flexibilidad. Al emplear esta técnica en suelos con alta plasticidad, como las arcillas, se aumenta su capacidad para resistir presiones de corte y se reduce su vulnerabilidad a los cambios en los niveles de humedad. En consecuencia, los edificios construidos sobre suelos estabilizados tienen una mayor durabilidad. (Flores Ruiz & Romero Mendo, 2023)

2.3.2. Base granular

La cimentación granular es un elemento vital en las construcciones de pavimentos, compuesta por materiales granulares como grava y arena. El objetivo principal de esto es ofrecer refuerzo estructural y distribuir uniformemente la carga a las capas subyacentes. La presencia de esta capa es fundamental para mantener la estabilidad del pavimento. Su función principal es reducir la transmisión de fuerzas al suelo subyacente, mejorar la resistencia a la deformación y permitir un drenaje eficiente del agua. La función principal de esta capa es inhibir la saturación y degradación del pavimento. (Cosio Huillca & Franco Centeno, 2023)

2.3.3. Estabilización

La estabilización es un método de tratamiento del suelo que mejora sus características mecánicas y de durabilidad mediante el empleo de productos químicos estabilizadores como cal, cemento o adiciones químicas. Esta técnica es crucial para mejorar la capacidad de carga de suelos problemáticos, disminuir su tendencia a crecer y mejorar su rendimiento cuando se someten a cargas y condiciones climáticas



desfavorables. Como resultado, permite la creación de edificios que son más seguros y tienen una mayor longevidad. (Gutiérrez Pariona & Parco Ramírez, 2022)

2.3.4. Estado estructural

La condición estructural se refiere al estado de robustez general de una estructura y a su capacidad para soportar tensiones sin distorsiones o averías sustanciales. El estado de los pavimentos es un determinante crucial que afecta su longevidad y eficiencia. La necesidad de mantenimiento y reparación se ve inmediatamente influida, garantizando que el pavimento permanezca operativo y seguro en el tiempo. (Fonseca et al., 2019)

2.3.5. Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles son una forma de construcción de pavimentos que consta de muchas capas de materiales, incluidas mezclas asfálticas y bases granulares. Estos pavimentos están diseñados para distribuir eficazmente el peso de los automóviles entre las capas inferiores sin sufrir ningún daño estructural. Estos pavimentos poseen una alta capacidad para soportar la deformación bajo presión sin fracturarse, lo que los hace muy adaptables a los cambios del terreno. Además, cuando se cuidan adecuadamente, tienen una vida útil prolongada, lo que los hace ideales para carreteras y aceras con diversos niveles de tráfico.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la investigación

El diseño de un estudio es una metodología sistemática y organizada que describe los métodos y protocolos específicos utilizados para recopilar, evaluar y analizar datos en una investigación científica. Este diseño abarca el proceso de desarrollar consultas de investigación, elegir técnicas de recolección de datos (cuantitativas, cualitativas o una combinación de ambas), identificar la muestra o población a examinar y diseñar estrategias para el análisis estadístico o cualitativo. Una metodología de investigación bien diseñada garantiza que el estudio se realice con especial atención al detalle, la coherencia y la corrección. Esto permite la recopilación de datos que abordan de manera efectiva las preguntas de investigación y contribuyen al conocimiento actual en el área temática. (Vega & Cahuana, 2021)

Este estudio estará conformado por un diseño experimental, debido que a lo largo de nuestro estudio se analizaran y modificaran muestras, se dosificaran con distintos porcentajes de aceite sulfonado, para poder obtener resultados verídicos

3.2 Método de la investigación

La técnica del estudio se puede clasificar en cuantitativa, cualitativa o una combinación de ambas, dependiendo de las características y objetivos de la investigación.



El enfoque cuantitativo prioriza la recopilación de datos numéricos y el uso de herramientas estadísticas para identificar patrones y relaciones. Por otro lado, la investigación cualitativa busca obtener una comprensión profunda de los eventos mediante el uso de observación, entrevistas y análisis de contenido. Emplear una técnica de investigación adecuada garantiza la recopilación y el procesamiento sistemático y racional de datos, facilitando la derivación de conclusiones precisas y confiables. (Reyes, 2022)

En nuestro estudio se usa el método de investigación científico, ya que se elabora por un proceso sistemático, para poder encontrar las absolución de los problemas establecidos, por medio de la identificación de ciertas circunstancias.

3.3 Nivel y tipo de la investigación

3.3.1 Nivel de la investigación

El nivel de investigación se refiere a la profundidad y el alcance del estudio, lo que dicta el tipo preciso de información que se pretende generar. La investigación se puede clasificar en diferentes tipos: exploratoria, que implica estudiar un tema que no ha sido investigado exhaustivamente; descriptivo, que se centra en describir las características de un fenómeno; correlacional, que implica examinar las relaciones entre variables; y explicativo, que tiene como objetivo investigar las causas y consecuencias. Garantizar que el estudio aborde eficazmente los temas de investigación en cuestión requiere seleccionar el enfoque metodológico y las herramientas de análisis adecuados, lo que hace que esta etapa sea vital. (Ramos Galarza, 2020)

Para mejorar la transitabilidad del área, la próxima investigación utilizará una técnica explicativa, que implicará la utilización de datos experimentales obtenidos de la inclusión de aceite sulfonado en la base granular.

3.3.2 Tipo de la investigación

El tipo de investigación se refiere a la clasificación general del enfoque metodológico utilizado por un estudio para abordar sus preguntas de investigación. La investigación se puede clasificar en tres categorías principales: cuantitativa, cualitativa o mixta. La investigación cuantitativa consiste en recopilar y examinar datos numéricos para detectar patrones y correlaciones estadísticas. La investigación cualitativa se centra en la adquisición de una comprensión profunda de los fenómenos mediante la utilización de metodologías como entrevistas y análisis de contenido. La investigación integrada emplea metodologías tanto cuantitativas como cualitativas para aprovechar las distintas ventajas de cada una. Además, la investigación puede clasificarse como experimental, no experimental, aplicada o básica, según sus objetivos y los atributos de la intervención o fenómeno que se investiga. La metodología de investigación establece la estructura y los métodos que se utilizarán para obtener y evaluar los datos. (Castro Maldonado et al., 2023)

El tipo de investigación para nuestro caso en particular estará dado según el tipo científico, toma en cuenta necesaria y especialmente en los grados de observación directa que deberán tener en nuestro estudio, estos nos brindarán nuevos enfoques en cuanto a la construcción los cuales brindarán valiosa información en el campo de la estabilización de suelos.

3.4 Población y muestra de la investigación

3.4.1 Población

En el campo de la investigación, la expresión «población» engloba a cualquier persona, objeto o acontecimiento que presente características similares y sea el objeto principal de un determinado estudio. La población se refiere al grupo específico de individuos del que el investigador pretende recabar datos o extraer conclusiones. El tamaño de este grupo puede ser finito o ilimitado. La población constituye la base para seleccionar una muestra, y es esencial para garantizar que las conclusiones del estudio

sean pertinentes y abarquen los fenómenos investigados, aunque no se encuentre a toda la población. (Ojeda, 2020)

La provincia de San Román y como también su procedimiento de mejoramiento de estas.

Figura 1

Localización de las zonas de estudio



Nota: Provincia de San Román

3.4.2 Muestra

Una muestra es una fracción cuidadosamente seleccionada de la población completa que se elige para participar en un estudio de investigación, con el objetivo de convertirse en un grupo representativo. Esta técnica permite al investigador realizar observaciones y análisis más prácticos y genuinos, sin necesidad de examinar a toda la población. El proceso de selección de la muestra debe realizarse meticulosamente y con meticulosa atención al detalle para capturar con precisión las características esenciales de la población. Esto garantiza la generalización de los hallazgos a toda la población. La validez y confiabilidad de las conclusiones del estudio dependen del tamaño y la

composición de la muestra, así como de los procedimientos utilizados para la selección de los participantes.

En este estudio se tendrá como muestra la Base Granular de la provincia de San Román, esta Base Granular estará estabilizada con aceite sulfonado.

Tabla 2*Conteo de experimentos realizados*

Descripción	Índice de Plasticidad	Grado Compactación	CBR	Total
BG	3	3	3	9
Con incorporación				
BG + 2.5% AS	3	3	3	9
BG + 3% AS	3	3	3	9
BG + 3.5% AS	3	3	3	9
BG + 4% AS	3	3	3	9
Total				45

Nota: BG (Base Granular), AS (Aceite sulfonado)

Hay tres métricas cruciales que se utilizan en las pruebas que se presentan en la tabla. Estos parámetros son el índice de plasticidad, el grado de compactación y el CBR (California Bearing Ratio). Además, la tabla presenta el número total de pruebas que se llevaron a cabo en una variedad de mezclas de materiales diferentes, respectivamente. Tanto en la Base Granular (BG) sin modificaciones como en combinaciones con incorporaciones crecientes de Aceite Sulfonado (AS) en porcentajes de 2,5%, 3%, 3,5% y 4%, se tomaron en consideración y evaluaron estos parámetros. BG no contiene alteraciones. Se llevan a cabo un total de nueve experimentos para cada tipo de mezcla y se recopilan tres mediciones para cada parámetro en cada combinación que se investiga. Un estudio completo y riguroso de los atributos que se ensayan en las distintas cantidades de materiales que se introducen lo asegura el hecho de que se realizan un total de 45 ensayos, un dato imprescindible a tener en cuenta.



3.5 Técnicas e instrumentos

3.5.1 Técnicas

Se utilizaron varios métodos especializados para evaluar las cualidades de los materiales investigados. Esto se hizo con el fin de garantizar la confiabilidad y representatividad de los hallazgos. La evaluación del Índice de Plasticidad fue una de las fases iniciales del procedimiento. Esta característica es vital para determinar la capacidad del material de deformarse sin romperse, por lo que fue una de las características que se evaluaron. Para ello se utilizó una técnica que consistió en realizar pruebas de consistencia tanto en la fase líquida como en la plástica. Esto permitió identificar el comportamiento del suelo bajo una variedad de circunstancias de humedad. Debido a que la flexibilidad del material afecta directamente la estabilidad y durabilidad de las capas estructurales, este método es esencial para los materiales que se utilizan en la construcción de infraestructura vial.

Por otro lado, el Grado de Compactación fue evaluado mediante pruebas estandarizadas que intentaron replicar las circunstancias reales de compactación que se encuentran en campo. Durante estas pruebas, se aplicó energía mecánica a las muestras para determinar la densidad máxima que se podía lograr y el contenido de humedad ideal que se requería. La importancia de este parámetro radica en que asegura la capacidad del material para soportar cargas sin sufrir asentamientos importantes, lo que a su vez ayuda a prolongar el tiempo que las edificaciones creadas pueden ser utilizadas de forma segura.

Por último, pero no menos importante, la resistencia del material se probó mediante la prueba California Bearing Ratio (CBR), que es un método que se utiliza a menudo en el campo de los estudios de investigación de mecánica de suelos y pavimentos. El objetivo de este ensayo es determinar la capacidad del material para resistir la penetración mientras se somete a una carga controlada, que simula el impacto de las ruedas de un vehículo pesado. Mediante el uso de los hallazgos obtenidos, podemos evaluar si el material cumple



o no con los estándares mínimos para su uso en capas de soporte de pavimento, particularmente en carreteras que experimentan niveles significativos de tráfico.

Con todo, la utilización de estas metodologías nos permitió adquirir una comprensión integral y profunda de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas investigadas. Con el fin de garantizar que los datos adquiridos fueran correctos y útiles para la formación de conclusiones apropiadas dentro del contexto del estudio, cada procedimiento se llevó a cabo de acuerdo con estrictos estándares de calidad y en entornos controlados. El uso de esta técnica integral garantiza que las características del material se comprendan y aprecien adecuadamente para la siguiente aplicación práctica. (Suárez P. et al., 2022)

La investigación se mejorará mediante la utilización de bibliografías, recursos de Internet y actividades de laboratorio. Como herramientas de investigación se utilizaron hojas de cálculo Excel y JCH S.A.C. El laboratorio de suelos realizó un estudio del tamaño de partículas utilizando técnicas de detección descritas en ASTM C 136, ASTM D 1557 y ASTM D 1883 para California Support Bond.

La recopilación de datos implica la utilización de diversas estrategias y procedimientos por parte de los analistas para localizar sistemas de información. Al emplear esta metodología, obtendremos una comprensión más completa de los dominios que estamos examinando. La metodología de la investigación incluye la aplicación de procedimientos de observación y experimentales. Las herramientas son instrumentos tangibles que los investigadores emplean para recopilar y adquirir información para su informe de investigación. El estudio empleará metodologías que implican la utilización de herramientas de recopilación de datos y análisis posterior en entornos de laboratorio controlados. Efús, (2020).

Esta tesis llevó a cabo una evaluación exhaustiva de la literatura relevante, que abarca revistas, libros, artículos científicos y otras fuentes confiables, con el fin de lograr

un análisis integral. Además, se empleará el siguiente criterio: La publicación fue escrita por Águila y Márquez en (2021).

Tabla 3*Descripción de las normas utilizadas*

Norma	Descripción	Breve Definición
ASTM D 422 / MTC E-107	Análisis Granulométrico por Tamizado	Determina la distribución de tamaños de partículas en suelos.
ASTM D 4318 / MTC E-110, E-111	Índice de Plasticidad	Evalúa la plasticidad de suelos mediante límites líquido y plástico.
ASTM D 2216 / MTC E-108	Humedad Natural	Mide el contenido de agua presente en suelos naturales.
ASTM D-2487	Clasificación de suelos método SUCS	Clasifica suelos según el sistema SUCS en función de granulometría.
AASHTO M-145	Clasificación de suelos método AASHTO	Clasifica suelos para pavimentación según el método AASHTO.
ASTM 1557 / MTC E-115	Proctor Modificado	Determina la densidad óptima y humedad de compactación en suelos.
ASTM 1883 / MTC E-132	California Bearing Ratio (CBR)	Evalúa la capacidad de soporte del suelo mediante el ensayo CBR.

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación

Estos instrumentos facilitan la adquisición de datos primarios directamente de los participantes del estudio o del entorno, y su variedad depende de la naturaleza de la investigación, los objetivos del estudio y el tipo de datos que se recopilarán. La investigación cuantitativa suele emplear cuestionarios, encuestas y pruebas de medición estandarizados, mientras que los estudios cualitativos dependen principalmente de



entrevistas en profundidad, grupos focales y observaciones participantes (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Los instrumentos deben diseñarse meticulosamente para garantizar que los datos obtenidos sean válidos y fiables. La validez denota la capacidad de un instrumento para evaluar adecuadamente el constructo previsto, mientras que la confiabilidad garantiza que los hallazgos sean constantes a lo largo del tiempo y en las mismas circunstancias. Los instrumentos de recolección de datos deben ser simples, comprensibles y adecuados para el público objetivo, y deben someterse a una prueba piloto antes de su implementación final en la investigación (Kerlinger y Lee, 2002).

Los cuestionarios, las entrevistas y las observaciones se encuentran entre las técnicas de recopilación de datos más utilizadas. Los cuestionarios se utilizan principalmente en investigaciones cuantitativas, lo que facilita la recopilación sistemática y eficiente de datos de poblaciones extensas. Por el contrario, las entrevistas se utilizan en la investigación cualitativa para explorar dimensiones subjetivas y proporcionar conocimientos más completos y contextuales. Las observaciones se utilizan para recopilar datos sobre comportamientos, relaciones y eventos que pueden no obtenerse fácilmente mediante una investigación directa (Bryman, 2016).

La selección del equipo de recolección de datos depende del diseño del estudio, los objetivos y las preguntas de investigación formuladas. Una metodología híbrida puede incluir tanto encuestas como entrevistas para proporcionar una comprensión más completa del tema. Además, los investigadores deben tener en cuenta las limitaciones éticas, prácticas y logísticas al elegir los instrumentos, garantizar la confidencialidad y obtener el permiso informado de los participantes (Creswell y Plano Clark, 2018).



3.6 Validación y confiabilidad del instrumento

3.6.1 Validación de los instrumentos

La validación de los instrumentos que se utilizaron en este estudio fue una etapa esencial y necesaria para garantizar la confiabilidad de los datos adquiridos. Con el fin de asegurar que las metodologías e instrumentos utilizados fueran los adecuados para medir adecuadamente las variables importantes del estudio, este procedimiento consistió en validar que fueran apropiados. Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo pruebas preparatorias en un ambiente controlado. Esto permitió identificar posibles errores o desviaciones que pudieran haber ocurrido antes del uso de los instrumentos en las circunstancias que finalmente se utilizaron en la investigación.

La evaluación de la consistencia de las mediciones adquiridas en varios momentos y con varias muestras fue uno de los componentes más importantes del proceso de validación. Este método, que se conoce como prueba de confiabilidad, aseguró que los resultados fueran repetibles y consistentes, reduciendo así el impacto de cualquier elemento externo o aleatorio que pudiera haberse introducido. Además, los primeros hallazgos se compararon con valores de referencia o estándares establecidos, lo que garantizó que los instrumentos alcanzaran los niveles de precisión requeridos. Esto se hizo para garantizar que los dispositivos fueran precisos.

Al igual que en el punto anterior, se tuvo en cuenta la validez de contenido, que implicó determinar si los instrumentos realmente evaluaban o no las variables que se pretendía investigar. Para ello se recabó la opinión de especialistas en el área. Estos especialistas examinaron los procesos y métodos que se utilizaron y confirmaron que eran adecuados para los objetivos trazados en la investigación. Como resultado de adoptar esta estrategia, fue factible rectificar cualquier deficiencia que estuviera presente en las primeras fases del trabajo, lo que resultó en que los resultados finales fueran más rigurosos.

En pocas palabras, el procedimiento de validación de los instrumentos fue muy necesario para garantizar la confiabilidad y calidad de los datos que se recolectaban. Este método no sólo aseguró que los instrumentos elegidos fueran confiables y genuinos, sino que también ofreció una base sólida para el análisis y la interpretación de los datos, lo que contribuyó al éxito general del estudio.

3.6.2 Confiabilidad de instrumentos

Al realizar cualquier tipo de estudio, la confiabilidad del equipo es un componente esencial ya que garantiza que las mediciones que se toman sean consistentes y reproducibles a lo largo del tiempo. La estabilidad y precisión de los instrumentos que se utilizaron en esta investigación se verificaron utilizando una variedad de enfoques diferentes. Este enfoque fue diseñado para garantizar que los datos recopilados representen con precisión las características de las variables que se estaban estudiando y para reducir la probabilidad de errores aleatorios que pudieran haber ocurrido.

Una prueba conocida como prueba de consistencia interna fue una de las formas que se utilizó en el proceso de evaluación de la confiabilidad. Esta prueba permitió determinar si los distintos ítems o parámetros evaluados por un mismo instrumento estaban correlacionados entre sí. Esto era de suma importancia para garantizar que los resultados producidos no se vieran afectados por variables externas o errores sistemáticos, sino que reflejaran con precisión las propiedades del material o fenómeno que se estaba investigando.

Uno de esos métodos que se utilizó fue la prueba de estabilidad temporal, que también se conoce como prueba-reprueba. Para los fines de esta investigación en particular, los instrumentos se utilizaron varias veces en la misma colección de muestras. Esto se hizo para garantizar que los resultados fueran consistentes en las numerosas sesiones de medición. Mediante la utilización de este método, pudimos verificar la confiabilidad del instrumento durante un período de tiempo, confirmando así que las



fluctuaciones observadas no fueron el resultado de irregularidades en el procedimiento de medición.

Como paso final, las personas que fueron responsables de realizar las mediciones fueron instruidas a asegurar que los procesos se llevaran a cabo de manera consistente y bajo los mismos criterios. Esto se hizo para garantizar la confiabilidad del interobservador. En consecuencia, esto evitó inconsistencias en los resultados que pudieran haber surgido como consecuencia de variaciones en la forma en que los evaluadores interpretaron o aplicaron los instrumentos.

En conclusión, la verificación de la confiabilidad de los instrumentos se logró mediante una serie de rigurosos procesos que aseguraron la precisión, consistencia y repetibilidad de los datos recopilados. Este método garantizó que los datos producidos fueran resilientes y confiables, lo que contribuyó a una mejora general en la calidad del estudio, así como en la validez de las conclusiones que se extrajeron del mismo.. (Andrade Ruiz, 2019)

3.7 Plan de recolección y procesamiento de datos

3.7.1 Selección de calicatas

La selección de pozos de prueba es un proceso crucial en la investigación geotécnica, ya que proporciona información directa sobre las características del subsuelo. Los pozos de prueba se cavan manual o mecánicamente para investigar y evaluar diferentes capas de suelo o roca a distintas profundidades. Este procedimiento es esencial para evaluar las condiciones del subsuelo antes de comenzar proyectos de infraestructura como edificios, carreteras o puentes, ya que facilita la identificación de atributos vitales del suelo, incluida la capacidad de carga, la presencia de agua subterránea y otros factores geotécnicos relevantes (Rodríguez et al., 2017).



La ubicación de los pozos de prueba debe elegirse intencionalmente para proporcionar una representación precisa y suficiente de las condiciones del subsuelo en el área de estudio. Los criterios de selección dependen del tipo de proyecto y de la uniformidad o variabilidad del terreno. En áreas con características de suelo significativamente diversas, es crucial realizar varios sondeos distribuidos uniformemente para obtener una comprensión profunda de las condiciones geotécnicas. Es crucial evaluar las áreas que se espera que experimenten la mayor tensión, especialmente los cimientos de las estructuras (Bowles, 1996).

Una vez identificadas las ubicaciones de los pozos de prueba, se inicia la excavación y el análisis posterior. Durante la excavación se recolectan muestras de diferentes estratos para investigaciones de laboratorio, incluidas pruebas de compactación, evaluaciones de resistencia al corte y evaluaciones de permeabilidad, que ayudan a estimar la capacidad del suelo para soportar cargas estructurales anticipadas. Además, el examen directo de los estratos permite detectar problemas potenciales, como capas de suelo inestables o la proximidad al nivel freático (Tomlinson & Woodward, 2013).

Los datos adquiridos de los pozos de prueba son cruciales para la toma de decisiones en proyectos de construcción, ya que proporcionan información precisa sobre la capacidad de carga del suelo y los posibles desafíos geotécnicos. Esta experiencia permite a los ingenieros construir cimientos adecuados y anticipar soluciones a peligros potenciales, garantizando así la estabilidad y seguridad duraderas de los edificios. Así, la selección juiciosa de los pozos de prueba y su análisis exhaustivo son elementos esenciales en la fase de planificación y diseño de cualquier proyecto de ingeniería civil (Das, 2010).

Figura 2

Posicionamiento de los puntos de estudio

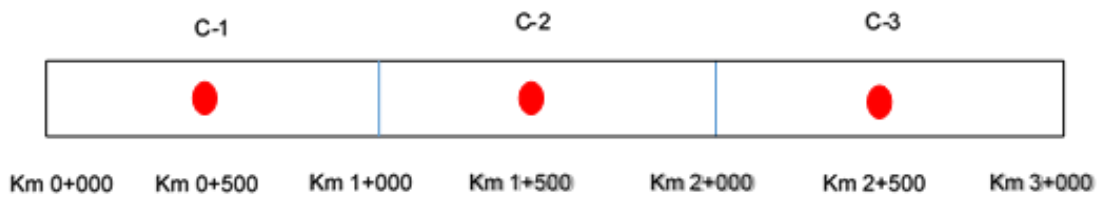


Tabla 4

Especificaciones de las excavaciones

Tramo	Km	Calicata
4+000 – 5+000	0+500	1
5+000 – 6+000	5+500	2
6+000 – 7+000	6+500	3

La tabla especifica las ubicaciones exactas de los pozos de prueba dentro de un proyecto de ingeniería, divididas en intervalos de 1.000 metros. El primer tramo, que abarca desde el kilómetro 0+000 al 1+000, cuenta con un pozo de prueba ubicado en el kilómetro 0+500 del lado derecho. El segundo tramo, que abarca desde el kilómetro 1+000 al 2+000, cuenta con un pozo de prueba situado en el kilómetro 1+500, situado en el lado izquierdo. Finalmente, a lo largo del tramo comprendido entre el kilómetro 2+000 y el 3+000, se sitúa un tercer pozo de prueba en el kilómetro 2+500, situado en el lado derecho. Esta información es crucial para la planificación de investigaciones geotécnicas, permitiendo la selección precisa y sistemática de sitios de muestra de suelo pertinentes para el segmento de carretera específico.

Figura 3

Localización de C-1



Figura 4

Localización de C-2



Figura 5

Localización de C-3



Toma de muestra del material



La recogida de muestras es un procedimiento fundamental que consiste en la extracción de una pieza representativa de una sustancia para el análisis de sus cualidades y características. Este enfoque se utiliza en varias disciplinas, incluidas la ingeniería, la geotecnia y la minería, para evaluar las propiedades de los materiales en su forma natural o en entornos controlados. El espécimen muestreado debe reflejar con precisión el lote completo, lo que requiere técnicas de muestreo estrictas para garantizar la coherencia y precisión en estudios futuros.

El proceso de muestreo abarca muchas etapas críticas, incluida la planificación, recolección y posterior transporte de muestras al laboratorio. En la fase de planificación, se establecen el sitio, la profundidad y el volumen necesarios para realizar pruebas precisas. En esta etapa, se identifican los métodos adecuados para cada tipo de material para minimizar las alteraciones de sus cualidades inherentes. Las muestras pueden incluir suelos, rocas, líquidos y varios otros materiales, dependiendo de la naturaleza del estudio.

Una vez recolectadas, las muestras se someten a análisis de laboratorio que permiten evaluar varias características, incluida la resistencia, la composición química y las cualidades mecánicas. La recopilación precisa de muestras es esencial para adquirir datos confiables que respalden selecciones técnicas informadas en diseño arquitectónico, evaluación de riesgos y cumplimiento normativo en proyectos de construcción e ingeniería.

Equipos y herramientas:

Tubos Shelby

Los tubos Shelby son un instrumento ampliamente utilizado para tomar muestras de suelos en su estado natural. Los tubos cilíndricos de acero se introducen en la tierra bajo presión, lo que facilita la extracción de una muestra con poca alteración de su estructura interna. Son particularmente beneficiosos en suelos cohesivos como los arcillosos, donde mantener las características originales es esencial para futuras evaluaciones geotécnicas.

Muestreo de barriles

Los barriles de muestreo, conocidos como barriles sacatestigos o "cucharas partidas", son instrumentos que se utilizan para obtener muestras de suelos y rocas intactas y sin modificar. Estos dispositivos incluyen una construcción hueca que facilita la extracción de muestras al insertar el barril en el suelo. Tras la extracción, el barril revela la sustancia central. Son cruciales en los análisis geotécnicos y fundamentales.

Caladores

Las excavadoras son instrumentos que se utilizan para extraer muestras de sustancias sueltas o granulares, como arena o grava. Se incorporan a la sustancia y luego se extraen utilizando un volumen de muestra estándar. Las perforadoras por inmersión están disponibles en varios tamaños y configuraciones y se utilizan en industrias como la agricultura y la minería para la investigación de suelos.

Esfuerzos de observación

Las perforadoras de núcleos son dispositivos mecánicos que se utilizan para recuperar núcleos de roca o suelo desde profundidades significativas. Se utilizan en investigaciones geotécnicas y mineras para obtener muestras no modificadas en regiones donde los datos de superficie son inadecuados. Los núcleos recolectados se examinan para determinar la estratigrafía fundamental, las características mecánicas de los materiales y su composición.

Equipo de muestreo de hormigón

Para obtener muestras de hormigón se utilizan cilindros o moldes estandarizados, en los que se vierte hormigón nuevo para su curado. Estos moldes facilitan la adquisición de muestras representativas para evaluar la resistencia a la compresión, la tracción o la flexión. Las brocas de diamante se utilizan para extraer núcleos cilíndricos de construcciones de hormigón endurecido y evaluar su resistencia y durabilidad.

Cucharones y palas

El muestreo de suelo superficial o materiales sueltos, como grava o arena, se realiza manualmente utilizando baldes y palas. A pesar de su simplicidad, estos métodos son cruciales para adquirir muestras representativas en áreas extensas o en contextos donde no se justifica el uso de equipos avanzados.

Sondas de muestreo

Las sondas de muestreo se utilizan para obtener muestras de líquidos o sedimentos en entornos acuáticos, incluidas aguas subterráneas o sedimentos de fondos de ríos o lagos. Estos instrumentos son cruciales para la investigación ambiental y de calidad del agua.

Extractores de muestras no modificados

Son instrumentos utilizados para obtener muestras de suelo o material que conserven su forma y estructura natural. Son particularmente esenciales en investigaciones que requieren el mantenimiento de la estructura interna del suelo para pruebas de laboratorio, como exámenes de resistencia al corte o permeabilidad.

Carros de perforación móviles

Este equipo se utiliza en escenarios que requieren perforación en lugares inaccesibles o cuando el paisaje restringe el uso de aparatos importantes. Realizan perforaciones superficiales para obtener muestras de suelo o sedimentos tanto en zonas lejanas como urbanas.

Aparato de perforación rotatoria

Los taladros rotativos se utilizan para extraer muestras de roca, tierra u hormigón a grandes profundidades. Estas brocas están equipadas con brocas de corte especializadas que permiten la extracción de muestras cilíndricas, denominadas núcleos, sin modificar las cualidades del material. Son frecuentes en las evaluaciones mineras y geotécnicas.



Cada equipo y herramienta tiene un trabajo determinado y su selección depende del tipo de material, las condiciones del terreno y las pruebas a realizar. La precisión del muestreo es crucial para obtener resultados confiables y representativos que proporcionen una evaluación precisa de los materiales.

Obtención del aceite sulfonado

El aceite sulfonado es un aditivo químico creado por el proceso de sulfonación, que implica el procesamiento de aceites naturales, a menudo provenientes de minerales o plantas. Este procedimiento implica la incorporación de grupos sulfonato ($-\text{SO}_3\text{H}$) a las moléculas del aceite, dando como resultado una modificación de sus características fisicoquímicas. Esta modificación mejora la polaridad de las moléculas de aceite, aumentando así su solubilidad en agua. Además, les confiere la capacidad de funcionar como emulsionantes y detergentes.

El proceso de obtención del aceite sulfonado comienza con la cuidadosa selección del aceite base, que puede consistir en un aceite mineral obtenido del petróleo o en un aceite vegetal como el aceite de ricino. Este aceite está sujeto a sulfonación, que es un proceso químico que se realiza comúnmente utilizando productos químicos sulfonantes como trióxido de azufre (SO_3) o ácido sulfúrico (H_2SO_4). Durante la reacción, los grupos sulfonato se integran en las cadenas alifáticas o aromáticas del aceite, dando lugar a una modificación en la composición química del producto. Esta configuración modificada permite que el producto interactúe con fases tanto acuosas como oleosas.

El proceso de sulfonación está meticulosamente regulado para evitar una sulfonación excesiva, que puede provocar la degradación del aceite o la formación de subproductos indeseables. Siguiendo una secuencia de procesos de purificación, que incluyen neutralización, lavado y secado, se eliminan del aceite sulfonado las impurezas y subproductos como ácidos libres o sales.

El aceite sulfonado exhibe propiedades notables como la capacidad de crear emulsiones duraderas, disminuir la tensión superficial de líquidos que no se mezclan y funcionar como agente humectante y de dispersión. El aceite sulfonado tiene características únicas que lo hacen muy buscado para muchos usos industriales, como mejorar la estabilidad del suelo. Cuando se utiliza de esta manera, mejora la coherencia y disminuye la fluidez de los suelos arcillosos, facilitando así su manipulación y mejorando su integridad estructural general.

Ensayos en laboratorio

i. Contenido de humedad:

Las pruebas de contenido de humedad son procedimientos esenciales en la investigación geotécnica, agrícola y de materiales que se utilizan para determinar la cantidad de agua en una muestra de suelo, agregado o material natural. El contenido de humedad es un determinante crítico en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, ya que afecta directamente su capacidad de carga, estabilidad y comportamiento durante la compactación y procesos asociados. Los principales métodos para evaluar el contenido de humedad son los siguientes:

Técnica del horno tradicional

El método del horno es el método más común y preciso para medir el contenido de humedad en suelos y materiales. El proceso implica adquirir una muestra húmeda, determinar su peso y luego secarla en un horno a una temperatura constante de alrededor de 105°C hasta lograr un peso estable. La reducción de peso durante el secado está directamente relacionada con el contenido de agua de la muestra. El contenido de humedad se calcula dividiendo el peso del agua por el peso seco del material. Esta metodología se considera el estándar en la investigación geotécnica y está regulada por varias normas, incluida la ASTM D2216.

Método Acelerado (Método de Humedad Rápida)

El proceso Speedy proporciona una alternativa rápida al método del horno, especialmente beneficioso cuando se requieren resultados inmediatos en el campo. Este método utiliza un dispositivo portátil con una cámara de reacción donde la muestra de suelo se mezcla con un reactivo de carburo de calcio. El gas acetileno se produce por reacción con la humedad del suelo y su presión se mide para determinar el contenido de humedad. El método Speedy, aunque es más rápido que la técnica del horno, tiene una precisión deficiente y se recomienda sólo para aplicaciones preliminares o de control de campo.

Método de sonda de humedad (método dieléctrico)

Este método utiliza sondas electrónicas o medidores de humedad para evaluar la constante dieléctrica del suelo, que varía según el contenido de agua. La sonda se inserta en el suelo y el dispositivo mide la capacitancia entre las placas, que luego se convierte en una evaluación del contenido de humedad. Este método no es invasivo y es rápido, lo que lo hace ideal para estudios de monitoreo continuo, especialmente en los ámbitos agrícola y ambiental. Sin embargo, la precisión puede verse afectada por la salinidad y la compactación del suelo.

Metodología Hidrométrica

El método del hidrómetro se utiliza para suelos de grano fino o materiales cohesivos. Este método depende de la velocidad de sedimentación de las partículas en una suspensión acuosa, ya que el volumen de agua influye directamente en el peso y la velocidad de caída de las partículas. El hidrómetro, aunque no es un instrumento directo para medir la humedad, puede proporcionar información indirecta valiosa sobre la retención de humedad en suelos de grano fino.

Método de microondas

El método de microondas ofrece una alternativa más conveniente al secado en horno para evaluar el contenido de humedad en suelos o agregados. El procedimiento implica pesar una muestra húmeda, luego secarla en un horno de microondas hasta alcanzar un peso consistente y finalmente calcular el porcentaje de humedad. Este método puede ahorrar



tiempo; sin embargo, se deben tomar medidas para evitar el sobrecalentamiento y la alteración de la muestra, especialmente si contiene arcillas u otras sustancias térmicamente sensibles.

Método gravimétrico

El método gravimétrico es un enfoque básico y preciso que implica medir directamente el contenido de humedad evaluando la diferencia de peso entre una muestra húmeda y su masa seca después del calentamiento. Este enfoque es ideal para obtener resultados muy precisos en laboratorios y es similar al método de secado en horno, aunque puede adaptarse a otros tipos de muestras y condiciones experimentales.

Método de conductividad térmica

Este método depende de la relación entre la conductividad térmica del suelo y el contenido de humedad. Los niveles elevados de humedad en el suelo mejoran su conductividad térmica. Esta prueba evalúa la conductividad térmica del suelo, relevante para los análisis de eficiencia energética en la construcción y el diseño de cimentaciones sometidas a temperaturas extremas.

Importancia de las evaluaciones del contenido de humedad

Las pruebas del contenido de humedad son vitales, ya que el agua en los materiales, especialmente en los suelos, puede afectar propiedades clave como la compactación, la estabilidad y la resistencia al corte. La humedad excesiva del suelo reduce significativamente la estabilidad y la capacidad de carga, lo que puede provocar fallas estructurales. Por el contrario, los suelos demasiado secos pueden no comprimirse lo suficiente, lo que supone riesgos para las estructuras.

En proyectos de ingeniería, como la construcción de carreteras, edificios o presas, comprender el contenido de humedad del suelo es esencial para guiar las decisiones sobre la preparación, el uso del compactador y otros procedimientos.

Las pruebas de contenido de humedad brindan información crítica para la evaluación y el manejo precisos de suelos y otros materiales en varias aplicaciones industriales, agrícolas

y de construcción. Dependiendo de la metodología utilizada, pueden proporcionar resultados de campo rápidos o análisis de laboratorio de alta precisión, asegurando que los proyectos que dependen de estos materiales se lleven a cabo en condiciones óptimas.

- ii. Ensayo de límites de consistencia: La prueba de límites de consistencia, conocida como límites de Atterberg, es una serie de evaluaciones realizadas en suelos finos, incluidas arcillas y limos, para determinar el contenido de agua en el que el suelo cambia entre formas sólida, semisólida, plástica y líquida. Estas pruebas son cruciales en ingeniería geotécnica.

Límite Líquido (LL)

El límite líquido indica el contenido de agua en el que el suelo cambia de un estado plástico a un estado semilíquido. Es el punto en el que el suelo pierde su cohesión y comienza a fluir por su propio peso. Para determinar este valor se utiliza un dispositivo Casagrande, que incluye una taza con una muestra de suelo. Se hace una incisión en la muestra y la copa se deja caer repetidamente desde una altura designada. Para determinar el contenido de agua se utiliza el número de golpes necesarios para que los dos segmentos de suelo se fusionen a lo largo de la incisión. Un suelo con un límite líquido alto tiene más cohesividad y requiere un mayor contenido de agua para alcanzar este estado, lo que lo hace más propenso a deformarse significativamente cuando se satura.

Límite Plástico (PL)

El límite plástico es el contenido de agua en el que el suelo pasa de un estado semisólido a uno plástico, lo que significa el umbral en el que el suelo comienza a deformarse sin romperse bajo presión. Para determinar este valor, se forma un cilindro con un diámetro de 3 mm con una muestra de suelo. El límite plástico se alcanza cuando el cilindro comienza a desintegrarse debido a una cohesividad insuficiente provocada por un contenido de agua inadecuado. Este ensayo es fundamental ya que establece el límite en

el que el suelo conserva su plasticidad sin romperse, relevante para controlar la compactación y trabajabilidad del material.

Índice de plasticidad (IP)

El índice de plasticidad se define como el diferencial entre el límite líquido y el límite plástico ($PI = LL - PL$). Significa el rango de contenido de humedad en el que el suelo exhibe flexibilidad, permitiendo deformación sin fractura, pero careciendo de la fluidez característica de un líquido. Los suelos con un índice de plasticidad alto poseen una mayor cohesividad y menos sensibilidad a las perturbaciones, mientras que los suelos con un índice de plasticidad bajo son más propensos a cambios volumétricos resultantes de variaciones en el contenido de agua. Este atributo es fundamental para clasificar los suelos según su capacidad de deformación y su idoneidad para proyectos de construcción.

Límite de contracción (SL)

El límite de contracción denota el contenido de humedad en el que el suelo cambia de una condición semisólida a una sólida. Cuando no se alcanza el umbral de humedad, el suelo deja de contraerse al perder agua. Esta prueba es particularmente relevante para suelos expansivos, que aumentan de volumen cuando están saturados y se comprimen al secarse, lo que puede causar problemas a las estructuras construidas sobre ellos. El límite de contracción ayuda a predecir el comportamiento del suelo en condiciones de humedad fluctuantes.

Importancia de los límites de coherencia

Las pruebas de límites de consistencia son cruciales para la clasificación y caracterización del suelo, ya que dilucidan la reacción del suelo ante cambios en el contenido de agua. Estos datos son cruciales para predecir el comportamiento del suelo en muchas condiciones, incluido el drenaje, la compactación y la estabilidad de los cimientos. Los suelos con un alto índice de plasticidad plantean más desafíos para la manipulación y la construcción debido a su propensión a deformarse y expandirse significativamente con

variaciones de humedad, mientras que los suelos con un bajo índice de plasticidad son más propicios para la compactación y el manejo.

Aplicaciones en Proyectos de Construcción

Comprender las restricciones de consistencia es crucial para planificar operaciones en proyectos de ingeniería civil que incluyen suelos con diversas características. Los suelos con un límite líquido alto pueden necesitar tratamientos particulares, como la estabilización con cal o cemento, para mejorar su capacidad de carga y reducir los riesgos de asentamiento. Los suelos con un alto índice de plasticidad necesitan especial atención en la construcción de cimientos debido a su susceptibilidad a la deformación causada por las fluctuaciones en el contenido de agua.

Por el contrario, los suelos con un límite líquido bajo y un índice de plasticidad reducido tienden a ser más estables y menos propensos a la deformación, lo que los hace apropiados para aplicaciones de construcción. Estos suelos demuestran una mayor previsibilidad en su comportamiento, mejorando el proceso de compactación y proporcionando una base sólida para los proyectos.

Protocolo de prueba

El procedimiento para probar las limitaciones de consistencia está definido y regulado por normas internacionales, incluida la ASTM D4318. Las pruebas deben realizarse en un laboratorio competente, utilizando equipos adecuados y siguiendo estrictamente los métodos especificados por la norma. Además, es fundamental que las muestras de suelo representen con precisión el sitio de estudio y se conserven adecuadamente durante su transporte al laboratorio para evitar alteraciones en sus niveles de humedad.

Evaluación concluyente

Las pruebas de límites de consistencia son herramientas esenciales en ingeniería geotécnica para evaluar el comportamiento del suelo en relación con las variaciones en el contenido de humedad. Proporcionan información crítica sobre la flexibilidad, cohesión y



estabilidad del suelo, lo que permite a los ingenieros tomar decisiones informadas en el diseño y construcción de infraestructura. Definir claramente estos límites es crucial para garantizar la estabilidad y durabilidad de cualquier proyecto de construcción, ya que ayuda a anticipar cualquier problema relacionado con el asentamiento, la expansión o la contracción del suelo.

iii. Proctor modificado:

La prueba de supervisor modificada tiene muchas etapas. Primero se selecciona una muestra de suelo típica, se seca al aire y luego se tamiza para eliminar las partículas más grandes. A continuación, el suelo se compacta en un molde cilíndrico en cinco capas, utilizando un pisón estandarizado que cae desde una altura de 45,7 cm. A diferencia de la prueba Proctor estándar, la versión modificada utiliza un apisonador más grande (4,54 kg), lo que aumenta significativamente la energía de compactación. Cada capa experimenta 25 impactos, lo que garantiza una compactación constante del suelo y reproduce las condiciones observadas en proyectos de infraestructura de alta carga.

Después de la compactación del suelo, se registra el peso húmedo de la muestra y se calcula su densidad húmeda. Para determinar el contenido de humedad de la muestra, se seca una porción del suelo en una estufa a 105°C, eliminando toda el agua presente. La prueba se realiza varias veces con diferentes contenidos de agua para generar un conjunto de datos que permita desarrollar una curva de compactación.

La principal distinción entre la prueba Proctor modificada y la prueba Proctor estándar está en la cantidad de energía de compactación utilizada. En la prueba Proctor modificada, la energía es aproximadamente 4,5 veces mayor debido al peso aumentado del apisonador y la altura desde la que se deja caer. Esto da como resultado una mayor compactación, que es esencial en proyectos que requieren que el suelo soporte cargas significativas. En consecuencia, los suelos compactados utilizando la prueba Proctor modificada a menudo



exhiben una capacidad de carga mejorada y menos susceptibilidad a la deformación o asentamiento.

Este ensayo es fundamental en la construcción de carreteras y aeropuertos, donde los suelos deben compactarse adecuadamente para soportar el tráfico continuo y cargas importantes. Una comprensión precisa del contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima del suelo permite a los ingenieros garantizar que el suelo tenga la estabilidad y resistencia necesarias para evitar fallas estructurales a largo plazo.

- iv. CBR: La prueba California Bearing Ratio (CBR) es una técnica utilizada material granular cuantificando la fuerza necesaria para que un pistón estándar penetre en el suelo en condiciones reguladas. Los resultados se comparan con un material de referencia, a menudo piedra triturada, y se expresan como un porcentaje conocido como valor CBR. Este valor ayuda a clasificar el material y evaluar su idoneidad para su uso como base o subbase en pavimentos.

El método de prueba de California Bearing Ratio (CBR) comienza con la preparación de la muestra de suelo, que puede realizarse en un laboratorio o in situ. La muestra se compacta en un molde bajo parámetros regulados de humedad y densidad, similares a los esperados en el sitio. Se introduce progresivamente en la muestra un pistón metálico con un diámetro de 50 mm a velocidad constante y se registra la fuerza necesaria para alcanzar diferentes profundidades de penetración (normalmente 2,5 mm y 5 mm). El valor del índice de carga de California (CBR) se calcula dividiendo la fuerza del suelo registrada por la fuerza requerida para la penetración de un material estándar y luego multiplicando por 100 para representarlo como un porcentaje.

El valor CBR obtenido de la prueba es crucial para el diseño del pavimento, ya que permite a los ingenieros evaluar la capacidad de carga del suelo bajo cargas de tráfico. Un valor CBR más alto indica que el suelo tiene una capacidad de carga mejorada, lo que lo hace más adecuado para su uso como cimiento o subbase en la construcción de carreteras y

aeropuertos. Los suelos con un valor CBR bajo pueden necesitar mejoras adicionales, como estabilización con cal o cemento, para aumentar su resistencia antes de usarlos en un proyecto de pavimentación.

La prueba CBR es relevante para suelos, materiales granulares y capas de agregados utilizados en subbases y bases de pavimentos. Este método es especialmente beneficioso en proyectos de infraestructura vial que necesitan una evaluación precisa de la capacidad de soporte material en condiciones de tráfico significativas. Además, la prueba es sencilla de realizar y produce resultados confiables, lo que permite a los ingenieros tomar decisiones informadas sobre la capacidad de un material para soportar tensiones prolongadas.

3.8 Procesamiento y análisis de datos

El proyecto "Evaluación de la Condición Estructural de Pavimentos Flexibles a Nivel Base Granular para la Propuesta de Estabilización con Aceite Sulfonado en Carreteras de la Provincia de San Román 2024" requiere del procesamiento y análisis de datos para evaluar con precisión la condición existente de los pavimentos y valorar la viabilidad de la intervención propuesta.

La evaluación de la integridad estructural del pavimento comienza con la recopilación de datos completos sobre la condición física de las carreteras, incluidas métricas como deformaciones, fracturas, deterioro de la superficie y resiliencia estructural. Después de recopilar los datos de campo, es fundamental organizarlos y perfeccionarlos sistemáticamente para garantizar la calidad y la confiabilidad. Esta estrategia incluye la eliminación de datos erróneos o inconsistentes y la estructuración sistemática de la información para mejorar el análisis, ya sea dentro de bases de datos o sistemas de información geográfica (SIG). Los datos adquiridos a partir de pruebas no destructivas, como los deflectómetros, deben examinarse minuciosamente para evaluar la eficacia del sustrato granular y su capacidad de carga.



El examen de los datos recopilados se centra en discernir patrones y atributos estructurales del pavimento. Los modelos analíticos evalúan la capacidad portante del pavimento y su deterioro estructural a lo largo del tiempo. Actualmente, se pueden utilizar técnicas de análisis estructural, como el Índice de Condición del Pavimento (PCI), para analizar el estado general del pavimento y evaluar su desempeño. Los datos de deflexión adquiridos en las pruebas de campo se examinan para determinar la capacidad de carga residual del pavimento y su reacción a las cargas del tráfico.

Este estudio permite identificar áreas esenciales para la estabilización, evaluando así la eficacia del aceite sulfonado como estabilizador en las capas granulares del pavimento. La investigación incluiría evaluar la reacción estructural del pavimento después de la aplicación de aceite sulfonado, pronosticando cómo esta intervención mejoraría los atributos del pavimento, como la resistencia a la fatiga y la estabilidad bajo cargas sustanciales.

Después de procesar y analizar los datos, es esencial interpretar los hallazgos dentro del contexto del proyecto. Esto implica evaluar el estado actual de los pavimentos frente a los puntos de referencia de desempeño previstos en el área de San Román. El análisis de datos tiene como objetivo evaluar el alcance de la degradación del pavimento y pronosticar las posibles ventajas de la estabilización con aceite sulfonado, incluida la integridad estructural, la durabilidad y los gastos de mantenimiento a largo plazo.

Un análisis exhaustivo de los datos permite sugerencias precisas sobre lugares prioritarios de intervención y evalúa la viabilidad técnica y económica del uso de estabilizadores. Este estudio es fundamental para corroborar la técnica de estabilización frente a los métodos convencionales, destacando sus ventajas competitivas en sostenibilidad y rendimiento.

En este contexto, el procesamiento y análisis de datos son cruciales para el éxito del proyecto, ya que proporcionan la base para comprender el estado actual de los pavimentos y la posible eficacia del tratamiento con aceite sulfonado. Una evaluación



exhaustiva mediante un análisis estructural adecuado garantiza que las sugerencias de reparación de pavimentos se basen en datos objetivos y realistas, optimizando el retorno de la inversión para la durabilidad y el rendimiento de las carreteras en la provincia de San Román.

En resumen, el procesamiento y análisis de datos en este estudio son instrumentos esenciales para evaluar el estado actual de los pavimentos flexibles y desarrollar estrategias basadas en evidencia para mejorar su estabilidad y durabilidad mediante el uso de aceite sulfonado.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación y análisis de resultados

a. Presencia de humedad

Tabla 5

Resultados de humedad en las muestras

	(%)
Calicata	(%) Humedad
C_1	23.66
C_2	22.20
C_3	24.30
Promedio	23.39

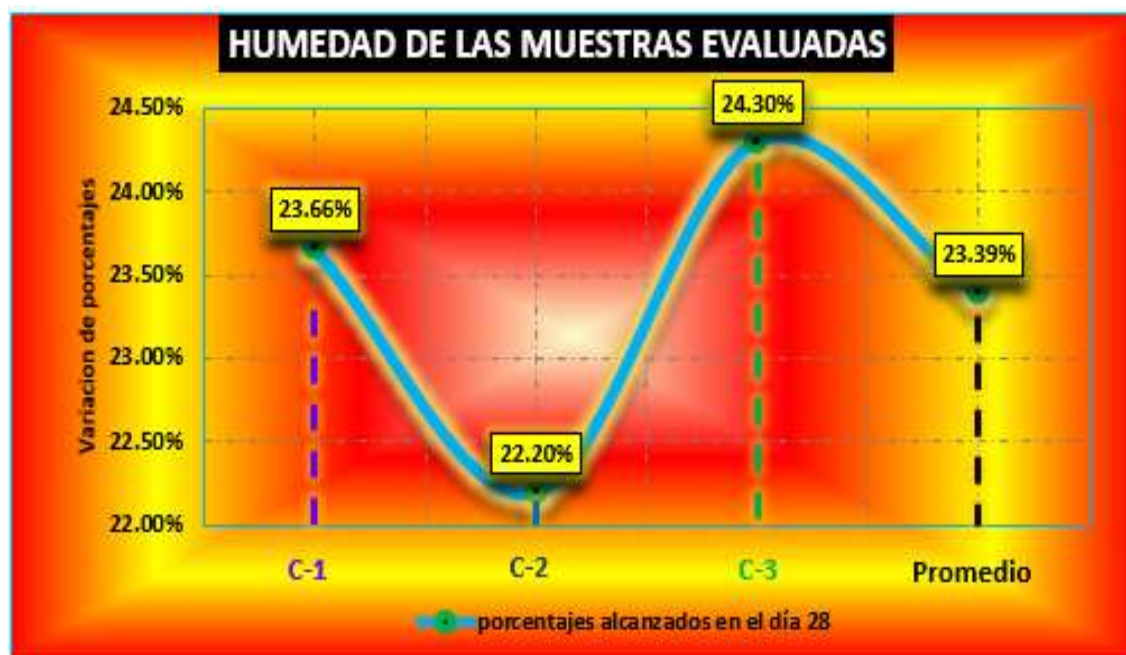
La tabla presenta los resultados del análisis de porcentajes de humedad en diferentes muestras de suelo obtenidas de fosas. Se realizaron mediciones en tres pozos denominados C_1, C_2 y C_3, dando como resultado valores de 23,66%, 22,20% y 24,30%, respectivamente. Los datos revelan la variabilidad intrínseca del contenido de humedad en las muestras analizadas.

La media calculada de los datos recogidos fue del 23,39%. Este promedio funciona como un punto de referencia global para los niveles de humedad en las muestras evaluadas,

proporcionando datos cruciales para delimitar las condiciones del suelo en el área de estudio. Los datos recopilados son fundamentales para ajustar parámetros en estudios relacionados con la compactación, resistencia o comportamiento mecánico del suelo.

Figura 6

Humedad presente en las muestras



El gráfico ilustra los porcentajes de humedad de las muestras evaluadas (C-1, C-2 y C-3) con sus valores promedio. Los resultados registrados demuestran una variación que comienza en 23,66% en la muestra C-1, disminuye hasta 22,20% en C-2 y alcanza un máximo de 24,30% en C-3. La media de todos los parámetros es del 23,39%. El gráfico muestra las variaciones entre las muestras, lo que demuestra fluctuaciones considerables en el contenido de humedad. Esta representación gráfica facilita un análisis visual de los datos y resalta la tendencia general de las cifras en la inspección.

b. Análisis granulométrico

Figura 7

Granulometría de la muestra 1

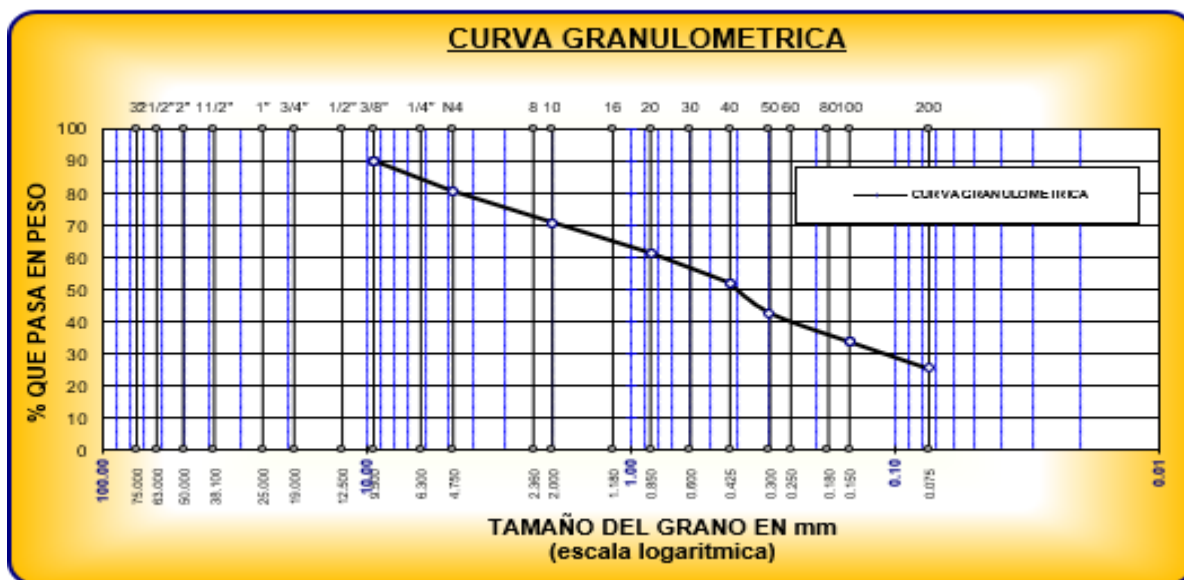


Figura 8

Granulometría de la muestra 2

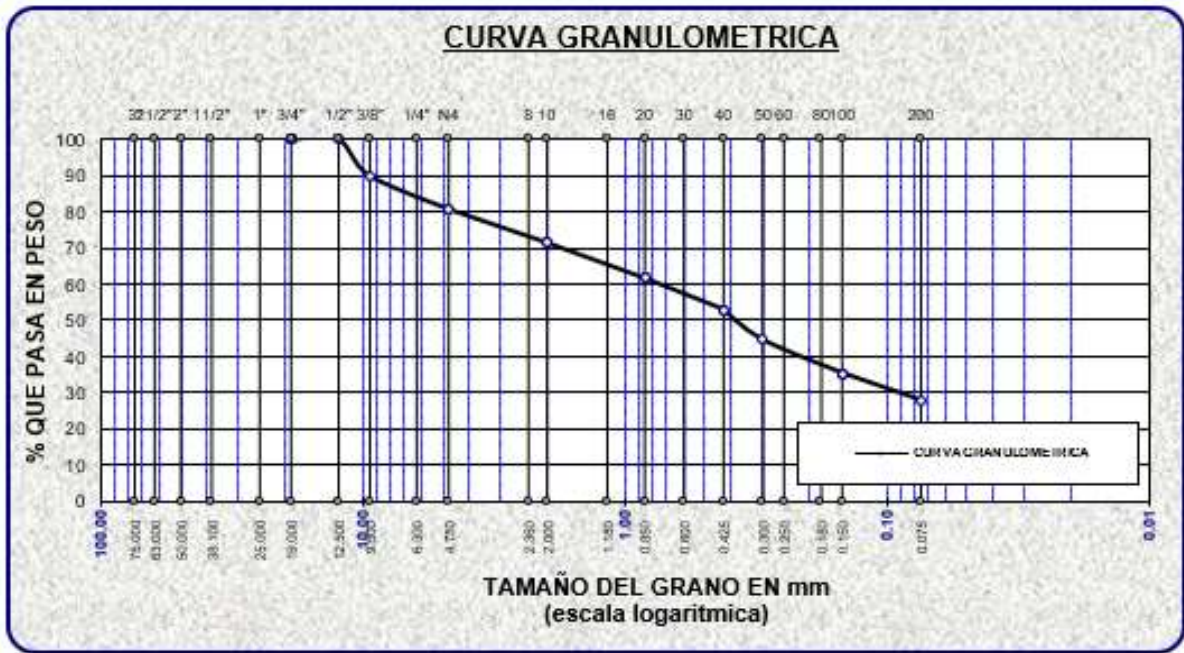
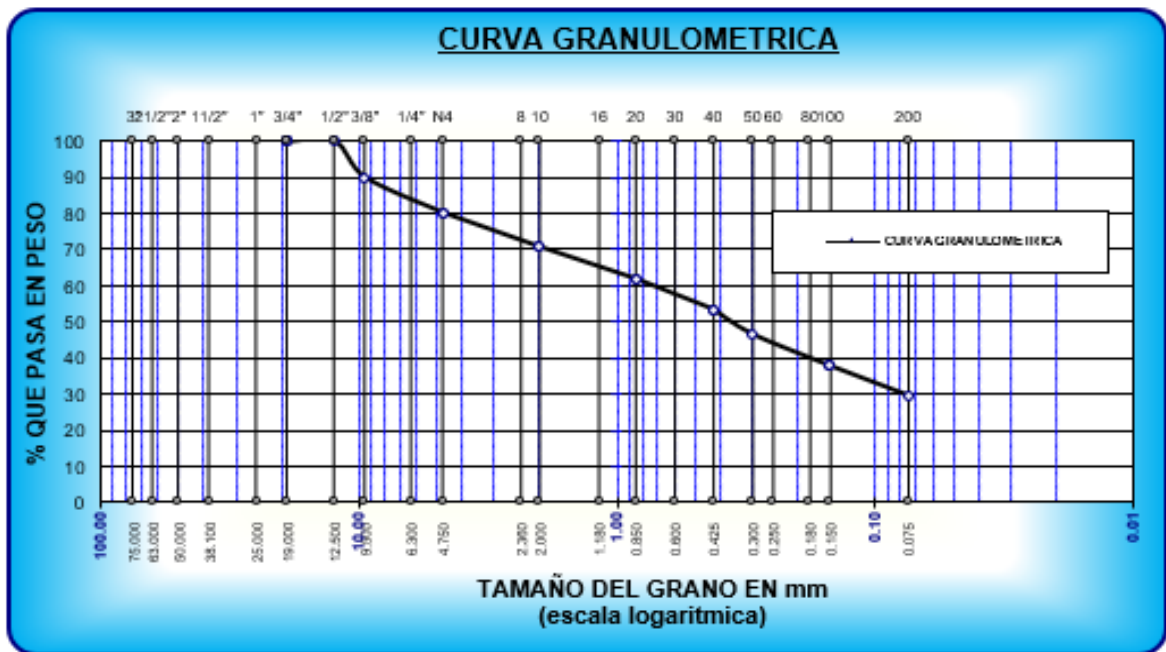


Figura 9

Granulometría de la muestra 3



c. Índice de plasticidad

Tabla 6

Análisis del índice de plasticidad en muestras naturales

Calicata	Base Granular		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-1	36.24%	16.36%	19.88%
C-2	37.75%	17.41%	20.34%
C-3	36.66%	20.74%	15.92%
Promedio	-	-	18.71%

La tabla presenta un análisis del índice de plasticidad en muestras naturales, considerando los límites de Atterberg pertinentes al sustrato granular. Para cada fosa evaluada (C-1, C-2 y C-3), se determinaron los valores de límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (PI). Para la muestra C-1, los resultados documentados fueron 36,24% para el límite líquido (LL), 16,36% para el límite plástico (LP) y 19,88% para el índice de plasticidad (IP). En la muestra C-2, los resultados fueron 37,75% para LL, 17,41% para LP y 20,34% para IP. En el tajo C-3 los porcentajes documentados fueron 36.66% para LL, 20.74% para LP y 15.92% para IP. El índice de plasticidad promedio de las tres piscinas se calcula en 18,71%. Este valor medio funciona como medida estándar del comportamiento plástico de las muestras analizadas, proporcionando datos esenciales para evaluar la calidad y propiedades mecánicas del material en el marco del estudio.

Figura 10

Comparativa de los límites alcanzados



Las cifras que se aprecian en la figura superior nos dan muestras de los variables resultados, entre la comparativa de los límites se aprecia que la primera calicata muestra un mayor índice de plasticidad mostrando un índice de 20.34%, un límite líquido superior lo mostro la muestra 2 con un 37.75%.

d. Grado de compactación

Tabla 7

Compactación y clasificación de la base granular

Grado de Compactación – Base Granular		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
C-1	2.8	10.5
C-2	2.8	10.7
C-3	2.7	10.5
Promedio	2.77	10.57

La tabla presenta los resultados del estudio de compactación y clasificación del sustrato granular, considerando el nivel de compactación a través de la Máxima Densidad Seca (MDS) y el Contenido Óptimo de Humedad (OCH). Las mediciones de las fosas evaluadas arrojaron valores de 2,8 g/cc y 10,5% para C-1, 2,8 g/cc y 10,7% para C-2, y 2,7 g/cc y 10,5% para C-3, correspondientes a MDS y OCH, respectivamente. La Densidad Seca Máxima promedio se estableció en 2,77 g/cc, mientras que el Contenido Óptimo de Humedad promedio se identificó en 10,57%. Los hallazgos promedio permiten evaluar la capacidad de compactación del sustrato granular y su comportamiento a diferentes niveles de humedad, lo cual es crucial para analizar las propiedades mecánicas del material bajo investigación.

Figura 11

Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de las calicata 1

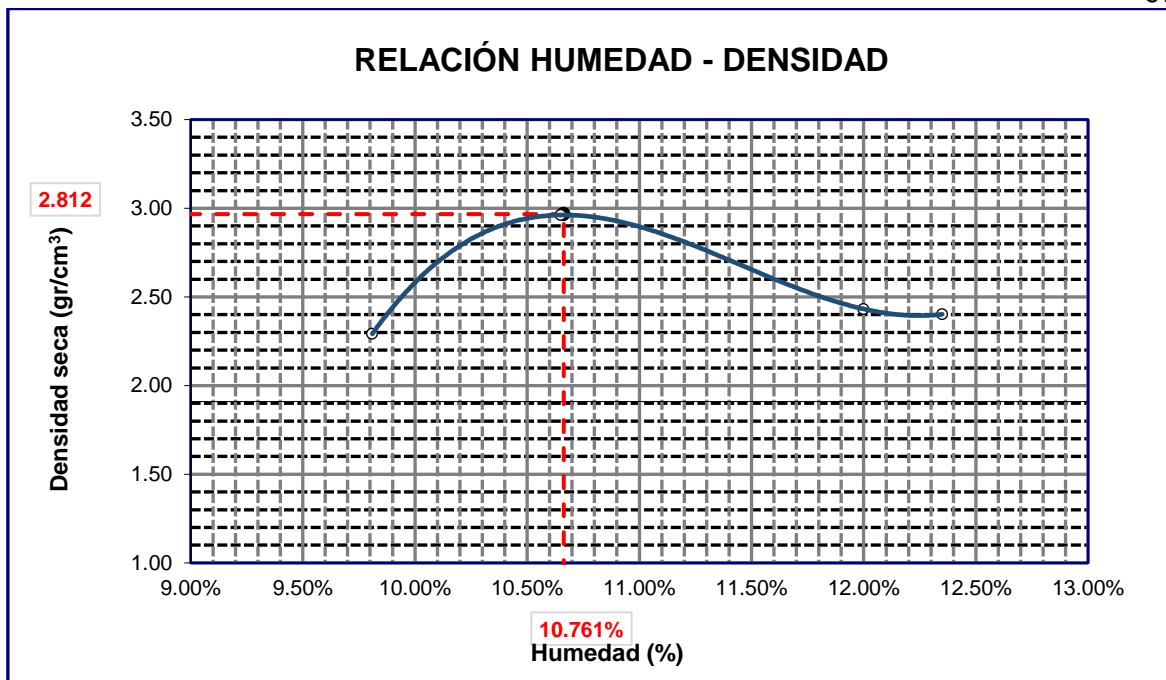


Figura 12

Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de las calicata 2

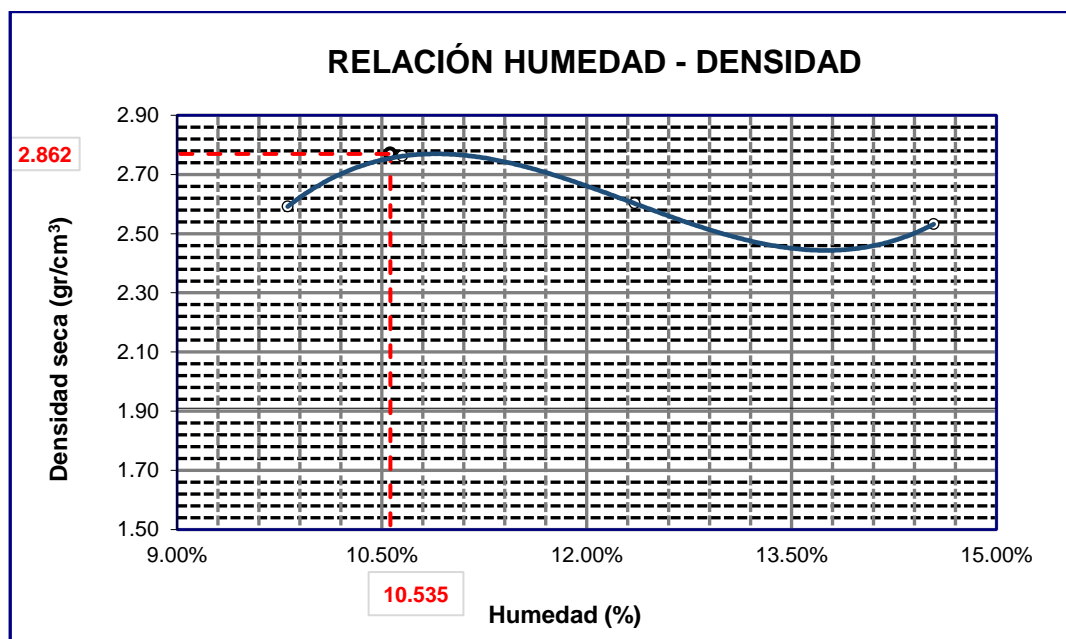


Figura 13

Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de las calicata 3

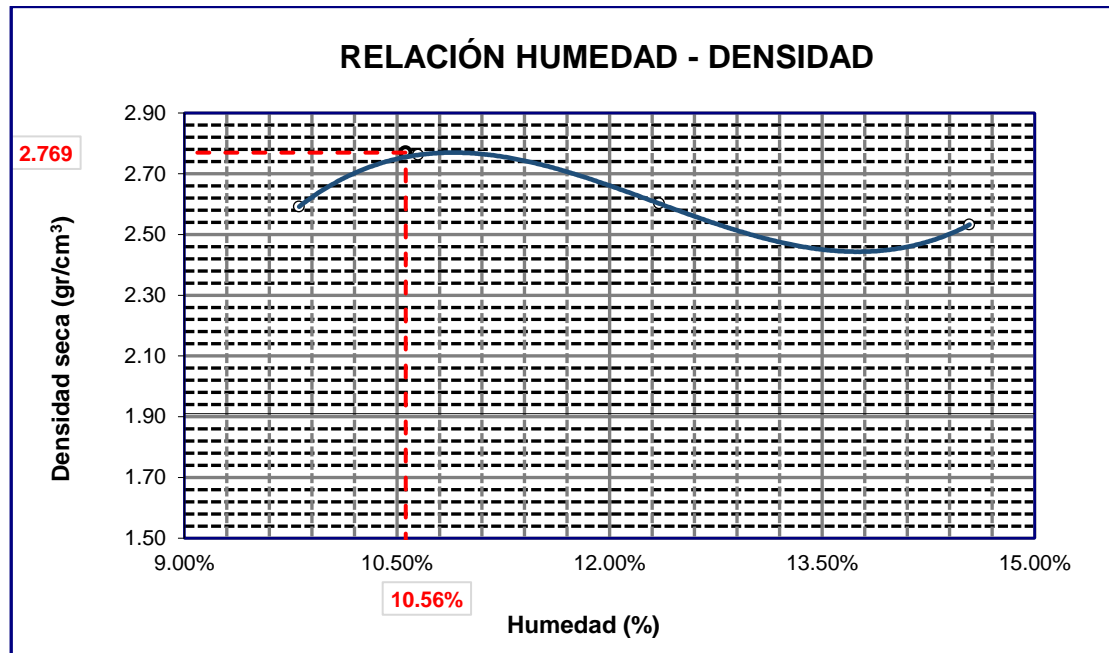


Figura 14

Comparativa de las relaciones entre humedad y densidad de los suelos



El gráfico presenta una comparación exhaustiva de la Densidad Seca Máxima (MDS) y el Contenido Óptimo de Humedad (OCH) para las fosas evaluadas (C-1, C-2, C-3) junto con

sus valores promedio. El eje vertical indica los valores asociados con MDS, medido en g/cc, y OCH, expresado como porcentaje. Los hallazgos revelan que el MDS para las pepitas fue de 2,8 g/cc en C-1 y C-2, mientras que C-3 exhibió un valor de 2,7 g/cc, culminando en un promedio de 2,77 g/cc. Por el contrario, el OCH exhibió valores de 10,5% en C-1 y C-3, y un valor algo elevado de 10,7% en C-2, resultando en un promedio calculado de 10,57%. El gráfico ilustra la estabilidad relativa de los valores de OCH, aunque la MDS indica una pequeña disminución en la muestra C-3. Esta representación permite visualizar la correlación entre la compactación del material y el contenido de humedad ideal, sirviendo como herramienta para interpretar su comportamiento y calidad en aplicaciones prácticas.

4.1.1 Capacidad de soporte de la Base Granular y afirmado de la vía

a. Capacidad de soporte

Tabla 8

Datos de CBR en las excavaciones

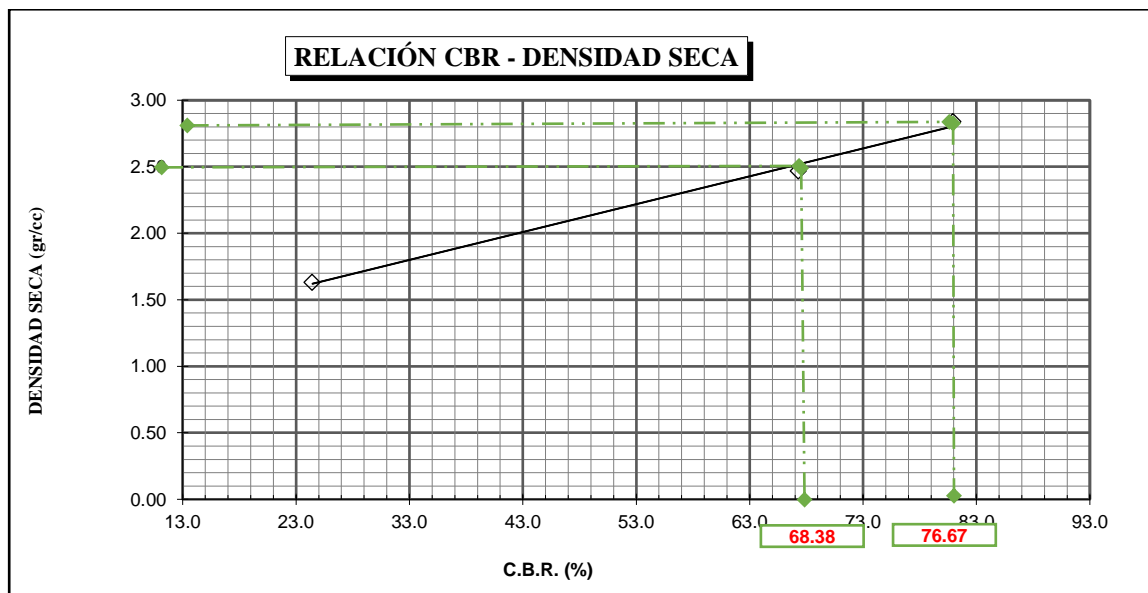
CBR – Base Granular		
Exploración-Calicata	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	76.67	68.38
C-2	75.58	67.30
C-3	75.66	67.38
Promedio	75.97	67.69

La tabla muestra los resultados de la prueba California Bearing Ratio (CBR) realizada sobre la base granular, evaluando dos condiciones: 100% de compactación y 95% de compactación. En el pozo C-1, los resultados documentados fueron 76,67% con compactación total y 68,38% con 95% de compactación. Para el tajo C-2 los valores

registrados fueron 75.58% y 67.30%; para el pozo C-3 los valores oscilaron entre 75,66% y 100% y entre 67,38% y 95%. Los resultados promedio indican un índice de carga de California (CBR) de 75,97% con 100% de compactación y 67,69% con 95%, estableciendo un punto de referencia general para la capacidad de carga del sustrato granular en ambos escenarios. Estos datos son esenciales para evaluar la viabilidad del material en aplicaciones de construcción de pavimentos y confirmar su desempeño bajo cargas aplicadas.

Figura 15

Calicata número 1- CBR

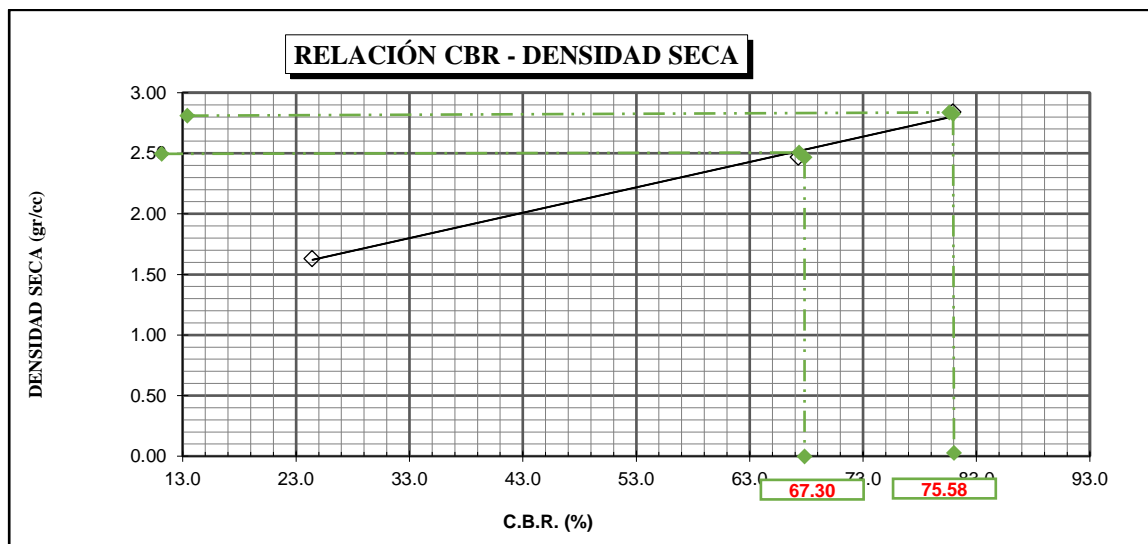


El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la

interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 16

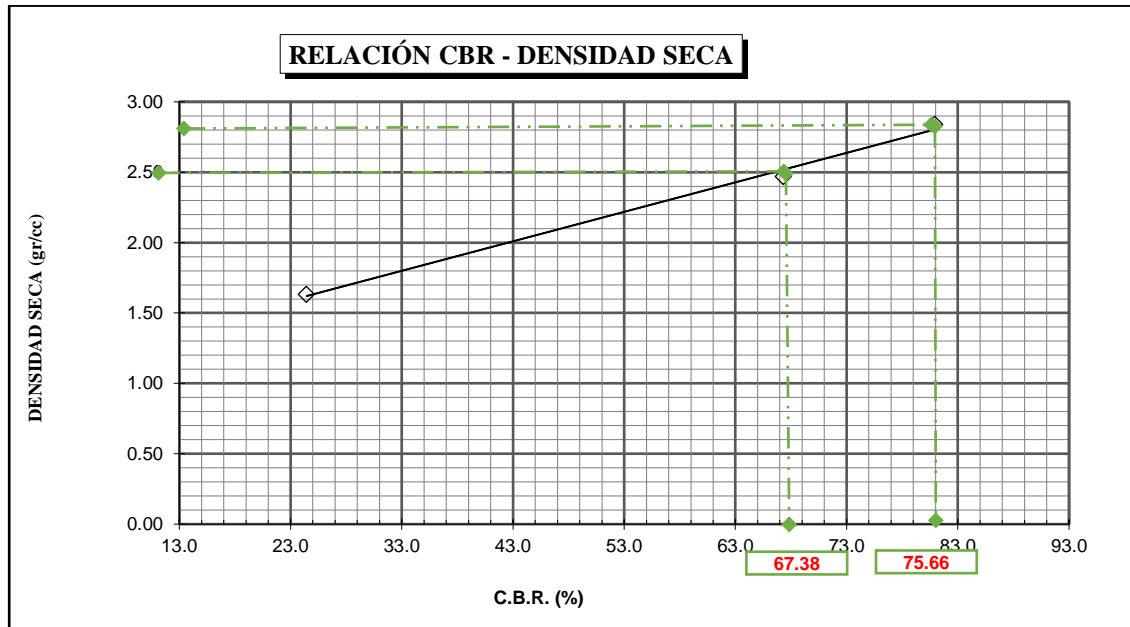
Calicata número 2 – CBR



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 17

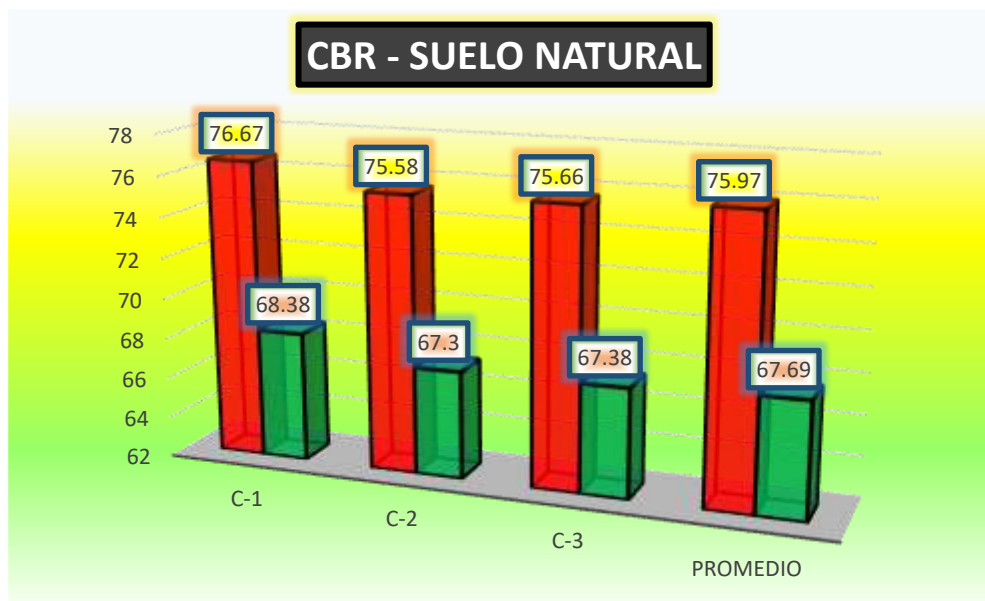
Calicata número 3 - CBR



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 18

Comparativa de las CBR de la Base Granular natural



El gráfico ilustra los valores de CBR al 100 % y 95 % de compactación para la base granular natural, mostrados mediante barras verticales distintas. En cada grupo, la barra roja representa el CBR al 100% de compactación, mientras que la barra verde indica el CBR al 95% de compactación.

Se observa que, en todas las fosas (C-1, C-2 y C-3), los valores de CBR al 100% de compactación son consistentemente superiores a los del 95%, lo que demuestra que una mayor compactación mejora la capacidad de soporte del material. Además, el resultado final incluye el promedio de los valores adquiridos, facilitando una comparación integral entre las circunstancias evaluadas. Esta representación gráfica ilustra las variaciones en los niveles de compactación y su impacto directo en el desempeño mecánico de la base granular.

4.1.2 Influencia de la utilización del aceite sulfonado sobre la capacidad de soporte

a. Capacidad de soporte + aceite sulfonado 0.5%

Tabla 9

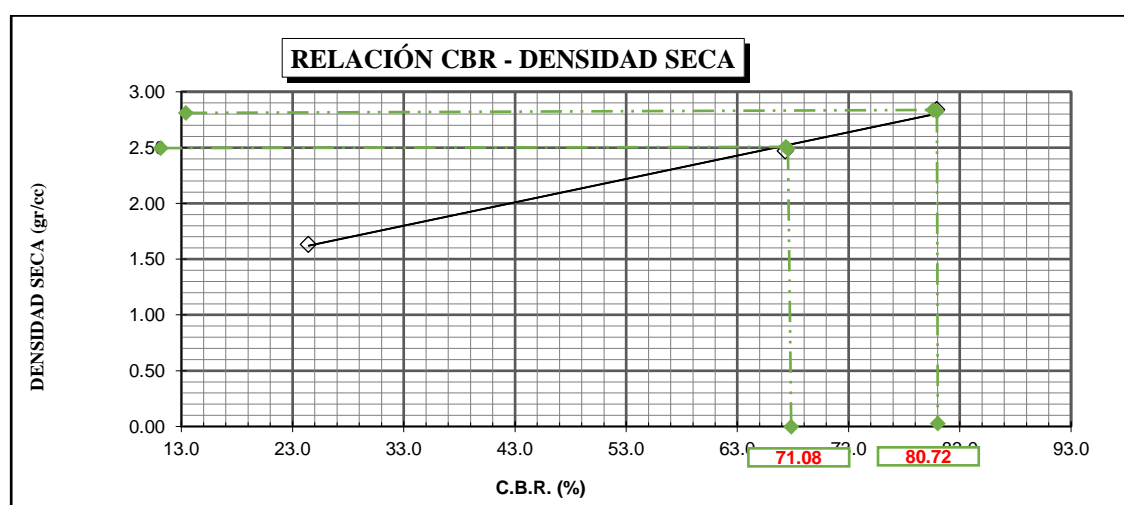
Datos de CBR en las excavaciones + 0.5% aceite sulfonado

CBR – Base Granular		
Exploración-Calicata	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	80.72	71.08
C-2	80.41	70.79
C-3	79.17	69.51
Promedio	80.10	70.46

La tabla presenta los resultados de la prueba CBR (California Bearing Ratio) realizada sobre la base granular en dos niveles de compactación: 100% y 95%. Los datos indican las variaciones en la capacidad de soporte del material en estas circunstancias, superando el 100% de compactación frente al 95%. Cada pozo arroja hallazgos consistentes que permiten identificar una correlación directa entre el grado de compactación y el desempeño del suelo. Además, se calcula un promedio general para ambos niveles de compactación, ofreciendo una referencia típica del comportamiento global del material examinado. Esta investigación es crucial para evaluar la idoneidad del suelo granular en aplicaciones estructurales.

Figura 19

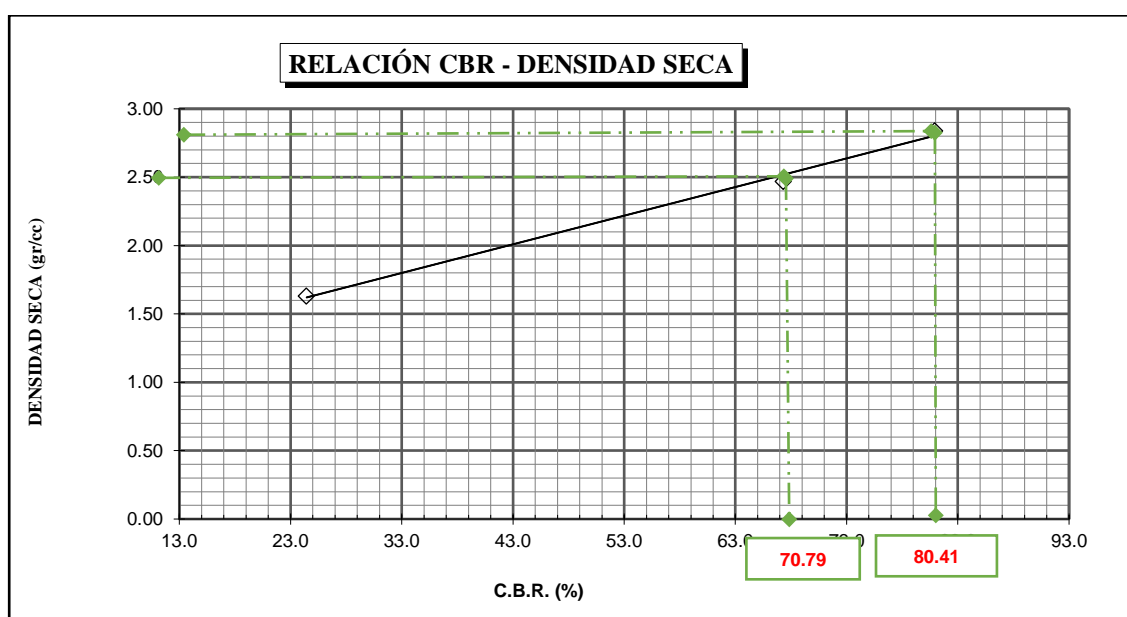
Calicata número 1- CBR + aceite sulfonado 0.5%



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 20

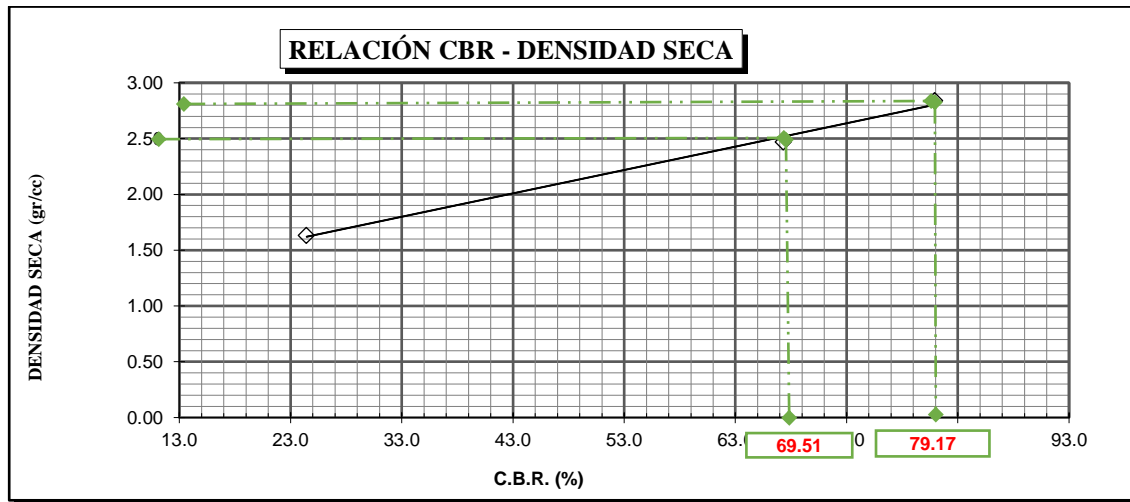
Calicata número 2 – CBR + aceite sulfonado 0.5%



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 21

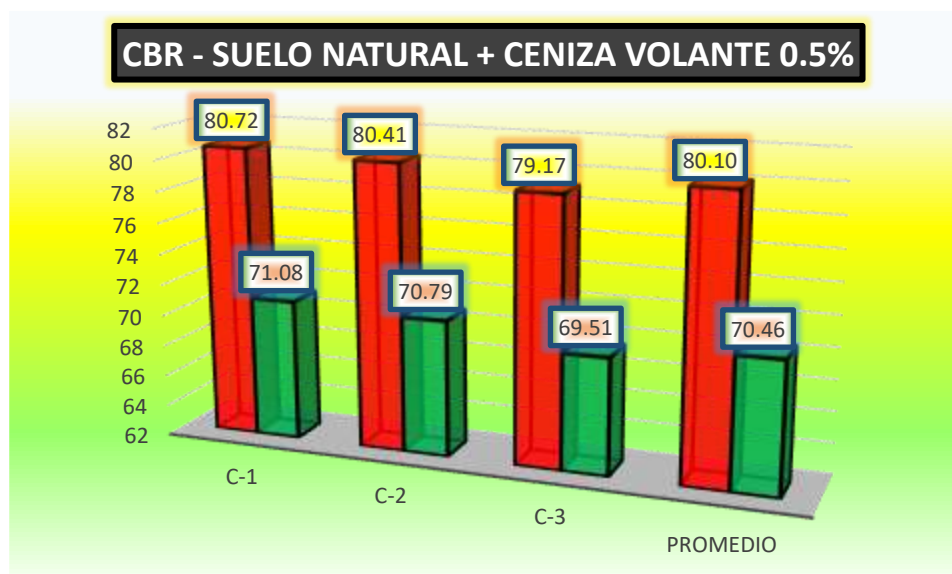
Calicata número 3 – CBR + aceite sulfonado en 0.5%



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 22

Comparativa de las CBR de la Base Granular natural + aceite sulfonado 0.5%



El gráfico yuxtapone los valores de CBR adquiridos para una base granular natural tratada con una mezcla de 0,5% de aceite sulfonado y cenizas volantes, evaluados en condiciones de compactación del 100% y del 95%. Los resultados se representan mediante barras verticales: las barras rojas representan el 100% de CBR y las barras verdes representan el 95%. Cada pozo (C-1, C-2 y C-3) tiene un patrón similar, lo que indica valores elevados al 100% de compactación en relación con el 95%. Además, se incluye la media global de ambas series, que ilustra el comportamiento del material en estas condiciones. Este enfoque permite evaluar el impacto de los aditivos en la capacidad de carga del suelo granular y su mejora en términos de resistencia, destacando su uso en contextos estructurales y de pavimento.

b. Capacidad de soporte + aceite sulfonado 1%

Tabla 10

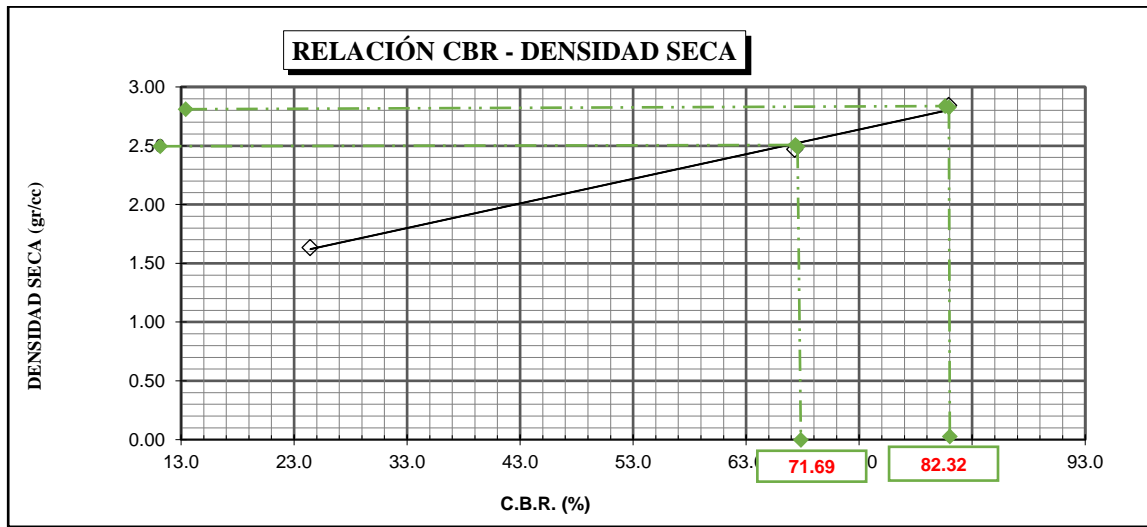
Datos de CBR en las excavaciones + 1.0% aceite sulfonado

CBR – Base Granular		
Exploración-Calicata	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	82.32	71.69
C-2	82.02	71.42
C-3	82.74	72.10
Promedio	82.36	71.74

La tabla muestra los resultados de la prueba CBR realizada a nivel granular, evaluando los valores al 100% y 95% de compactación. Los datos revelan discrepancias persistentes entre los dos niveles de compactación de las piscinas analizadas (C-1, C-2 y C-3). En todos los casos, los valores al 100% superan a los del 95%, lo que demuestra la influencia de una mayor densificación en la capacidad de carga del material. En última instancia, se calculan los promedios generales para ambos escenarios, lo que proporciona una referencia significativa del comportamiento global del suelo granular en estos entornos. Estos datos son cruciales para evaluar el rendimiento mecánico del material en condiciones de carga.

Figura 23

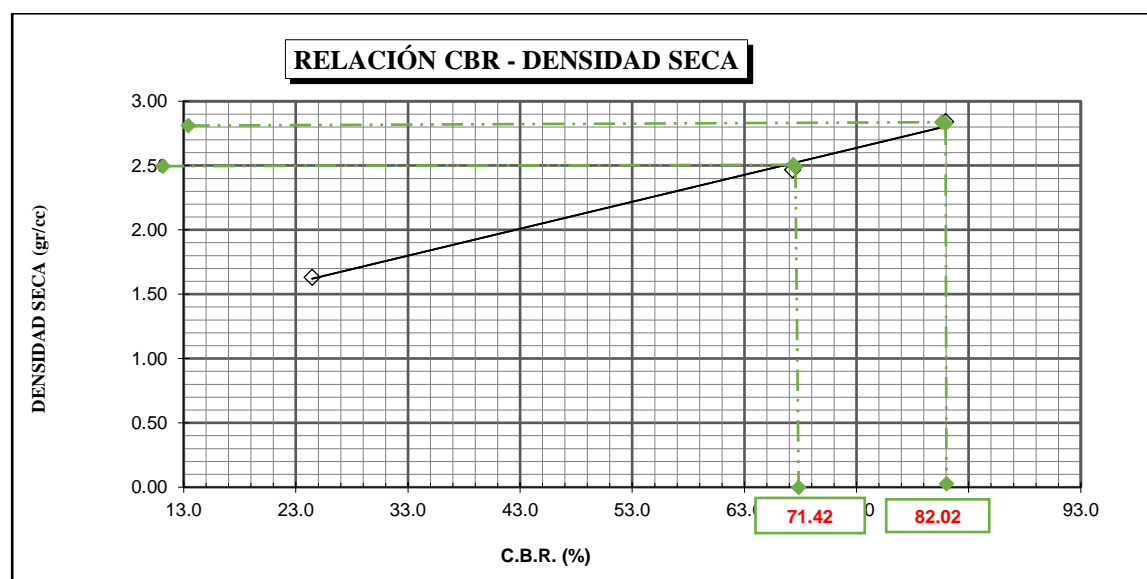
Calicata número 1- CBR + aceite sulfonado 1.0%



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 24

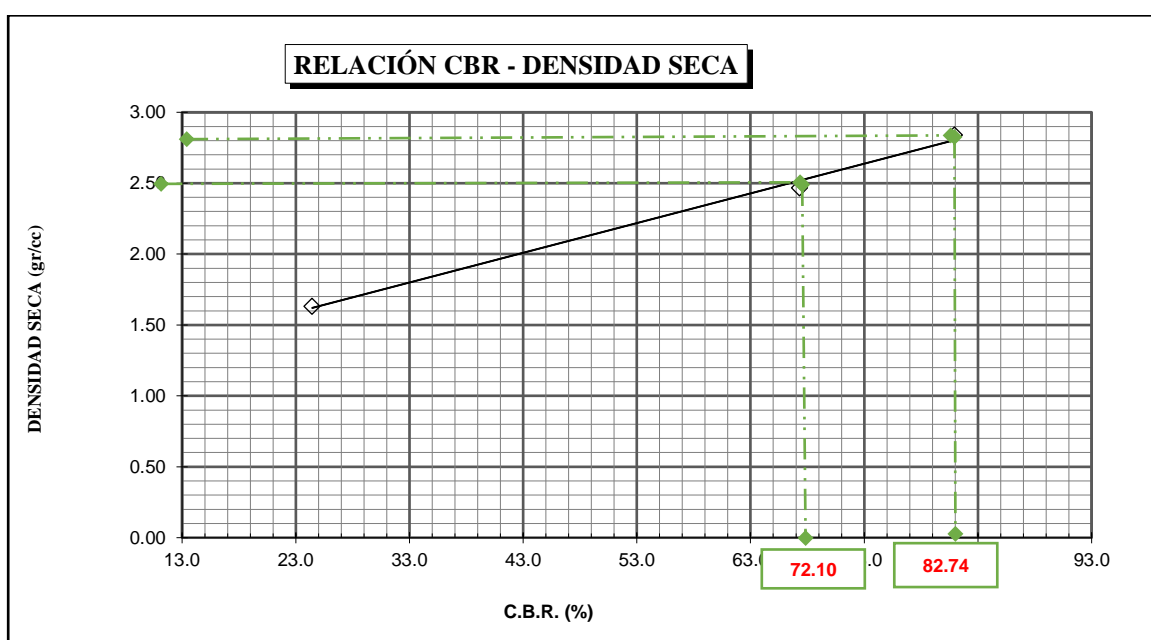
Calicata número 2 – CBR + aceite sulfonado 1.0%



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 25

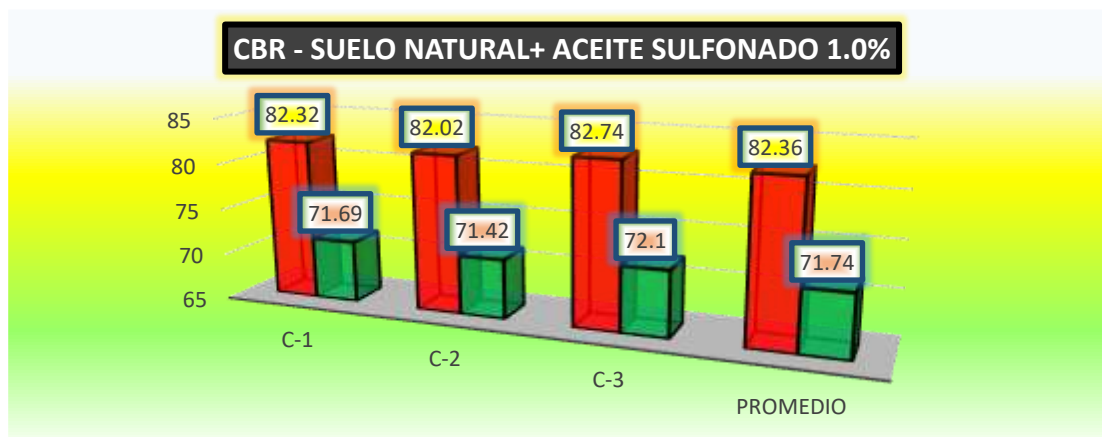
Calicata número 3 – CBR + aceite sulfonado en 1.0%



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 26

Comparativa de las CBR de la Base Granular natural + aceite sulfonado 1.0%



El gráfico compara los valores de CBR para una base granular natural tratada con 1,0% de aceite sulfonado, evaluados en dos niveles de compactación: 100% (barras rojas) y 95% (barras verdes). Cada pozo (C-1, C-2 y C-3) demuestra hallazgos similares, lo que indica que los valores al 100% de compactación superan a los del 95%, lo que ilustra una mejora en la capacidad de carga del material con una mayor densificación. Además, se incluye el promedio total para ambas situaciones, indicando el comportamiento integral del suelo tratado. Este examen nos permite evaluar la eficacia del tratamiento administrado en cuanto a la resistencia y estabilidad del material granular.

c. Capacidad de soporte + aceite sulfonado 1.5%

Tabla 11

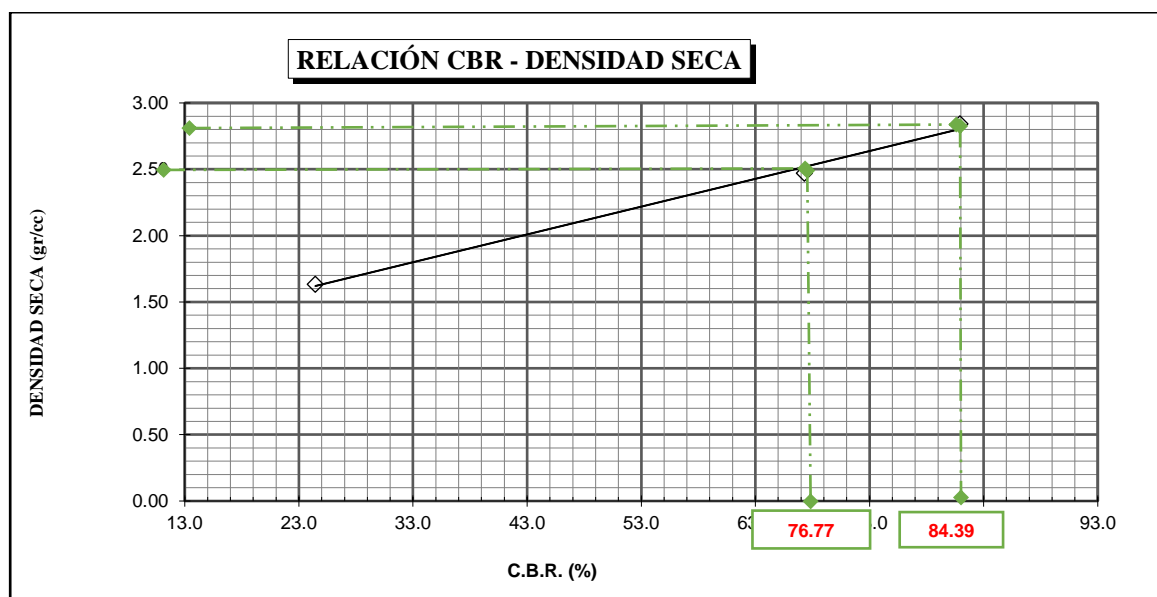
Datos de CBR en las excavaciones + 1.5% aceite sulfonado

Exploración-Calicata	CBR – Base Granular	
	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	84.39	76.77
C-2	83.59	75.90
C-3	84.64	76.60
Promedio	84.21	76.42

La tabla muestra los valores de CBR obtenidos de excavaciones tratadas con una adición de aceite sulfonado al 1,5%, evaluados a niveles de compactación del 100% y 95%. Los hallazgos demuestran que en todas las fosas (C-1, C-2 y C-3), los valores al 100% aumentan, lo que indica una mayor capacidad de soporte en condiciones de máxima compactación. Los promedios generales proyectados son 84,21% para 100% CBR y 76,42% para 95% CBR, lo que proporciona una visión amplia del rendimiento mecánico del material en estas condiciones particulares. Estos datos son fundamentales para evaluar la eficacia del tratamiento y la durabilidad del suelo granular.

Figura 27

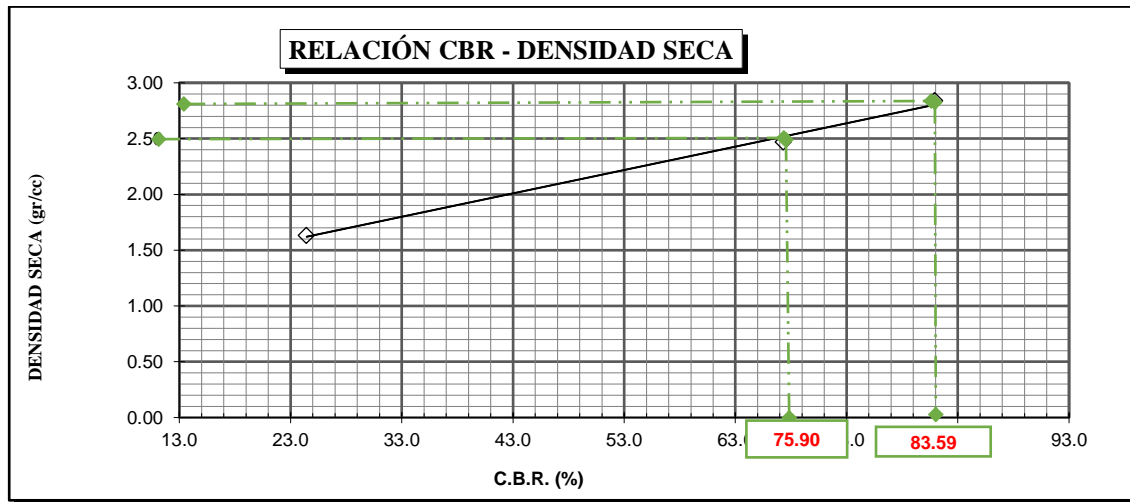
Calicata número 1- CBR + aceite sulfonado 1.5%



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 28

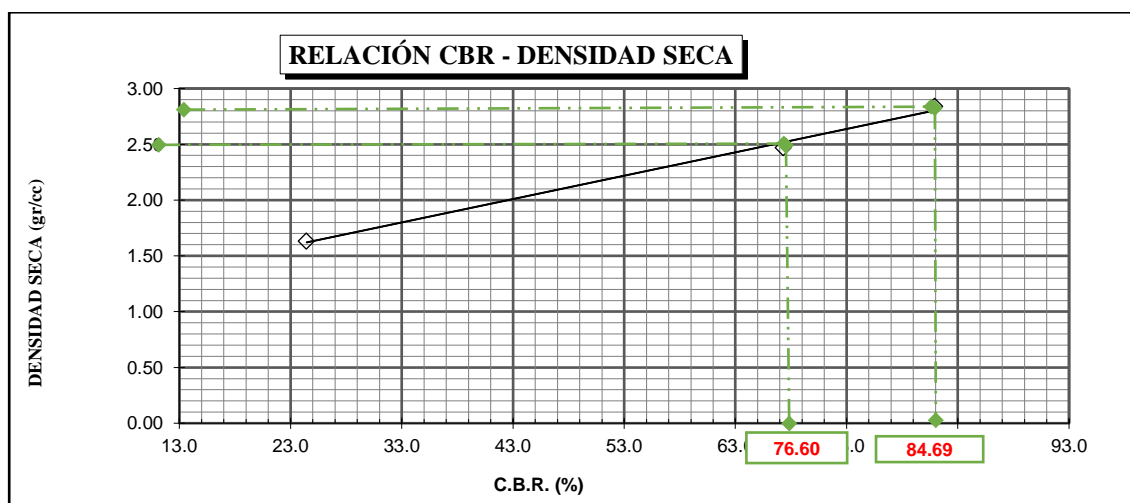
Calicata número 2 – CBR + aceite sulfonado 1.5%



El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 29

Calicata número 3 – CBR + aceite sulfonado en 1.5%

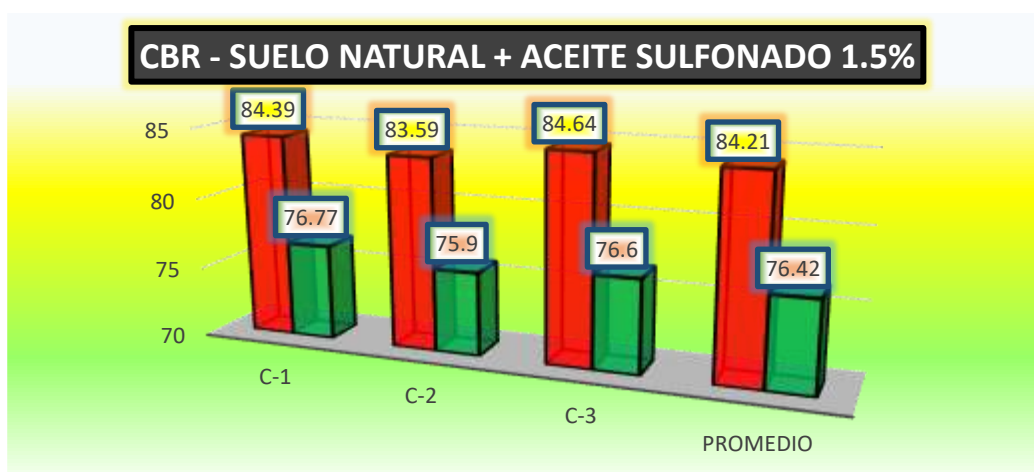


El gráfico muestra la correlación entre CBR y la densidad seca, lo que demuestra una tendencia positiva que significa que un aumento en la densidad se correlaciona con una

mayor capacidad de soporte del material. Este análisis visual facilita la comprensión de la interacción entre las dos variables y su importancia en la evaluación del comportamiento mecánico del material granular.

Figura 30

Comparativa de las CBR de la Base Granular natural + aceite sulfonado 1.5%



El gráfico compara los valores de CBR obtenidos para un sustrato granular natural tratado con aceite sulfonado al 1,5%, evaluando dos niveles de compactación: 100% (barras rojas) y 95% (barras verdes). Se presentan los resultados para tres tajos (C-1, C-2 y C-3), además del promedio general.

Los valores al 100% de compactación superan regularmente a los del 95%, demostrando que un mayor grado de compactación mejora la capacidad de soporte del material tratado. Esto es claramente evidente en cada grupo de barras, ya que la diferencia entre los dos niveles sigue siendo constante. El promedio total confirma esta tendencia, demostrando que el material tratado con aceite sulfonado al 1,5% tiene un desempeño superior bajo compactación ideal.

La representación gráfica proporciona una imagen clara y comparativa del impacto de los niveles de tratamiento y compactación en las características mecánicas del suelo granular, proporcionando datos cruciales para la evaluación y construcción de estructuras que utilizan este material.

4.1.3 Procedimientos de repavimentación

La repavimentación es un proceso técnico diseñado para restaurar las características funcionales y estructurales de una vía deteriorada mediante la colocación de nuevas capas de pavimento. Este procedimiento es esencial para mantener el estado de las carreteras, mejorar la seguridad y prolongar su durabilidad, especialmente en zonas con mucho tráfico de automóviles. Los procedimientos de repavimentación pueden variar según el estado del pavimento existente, el tipo de daño y los materiales disponibles, aunque generalmente siguen un orden prescrito para garantizar su efectividad.

La etapa preliminar de repavimentación implica evaluar el estado del pavimento existente. Actualmente, se evalúa la integridad superficial y estructural de la vía para identificar varios tipos de daños, como fracturas, deformaciones o deterioro de la textura. Se realizan evaluaciones, que abarcan el análisis del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y pruebas de carga, para determinar la capacidad residual de la estructura. Esta información es crucial para determinar el tipo de intervención necesaria y el espesor de las nuevas capas.

Tras el examen se prepara la superficie existente. Esta fase consiste en la limpieza del pavimento para eliminar restos de suciedad, vegetación o restos sueltos que puedan dificultar la adherencia de las nuevas capas. Las deformaciones sustanciales o las roturas localizadas se solucionan parcheando, mecanizando o estabilizando las capas de cimentación. En algunos casos, se emplea una capa de imprimación para mejorar la adhesión entre la superficie existente y el pavimento nuevo.

La siguiente fase es la instalación de la nueva capa de pavimento, que puede comprender asfalto, concreto u otros materiales dependiendo de las especificaciones estructurales y funcionales de la vía. Se utilizan equipos especializados como adoquines y compactadores para garantizar la calidad, permitiendo una distribución uniforme del material y una adecuada compactación. Durante este proceso, se controlan parámetros

como el espesor de la capa, la temperatura del material (particularmente para el asfalto) y el contenido de humedad.

En última instancia, se llevan a cabo evaluaciones de finalización y calidad. Este paso incluye la verificación de los perfiles longitudinales y transversales de la carretera, evaluación de la densidad del pavimento y evaluaciones de resistencia, incluido el módulo de resiliencia y pruebas de carga. Además, las marcas y la señalización vial se utilizan comúnmente para restaurar toda la funcionalidad de la ruta. La efectividad de las operaciones de repavimentación depende de una planificación cuidadosa, el uso de materiales superiores y la implementación exacta de cada etapa, garantizando un pavimento duradero y operativo.

4.2 Discusión de resultados

La evaluación de la integridad estructural de los pavimentos flexibles en la provincia de San Román arrojó resultados que evidencian problemas significativos en la capacidad de soporte de las vías, lo cual impacta directamente en su desempeño, durabilidad y capacidad para soportar cargas de tráfico. Utilizando pruebas no destructivas y análisis de CBR (California Bearing Ratio), se identificaron valores iniciales bajos en el estado natural de las capas granulares. Los resultados obtenidos reflejan las condiciones actuales del pavimento:

Calicata 1: 76.67% al 100% y 68.38% al 95%,

Calicata 2: 75.58% al 100% y 67.30% al 95%,

Calicata 3: 75.66% al 100% y 67.38% al 95%.

Estos valores revelan una disminución en la capacidad portante de las capas de afirmado, principalmente atribuida a factores como la alta incidencia de tráfico pesado, la falta de mantenimiento preventivo y correctivo, así como a la exposición prolongada a



condiciones climáticas desfavorables. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que afirman que las bases granulares no tratadas tienden a perder resistencia estructural rápidamente bajo cargas recurrentes y condiciones de humedad excesiva, lo cual acelera el proceso de fatiga y deformación plástica del pavimento (Huang, 2004; AASHTO, 1993).

Para abordar esta problemática, la aplicación de aceite sulfonado como agente estabilizador fue evaluada mediante la incorporación de diferentes porcentajes: 0.5%, 1.0% y 1.5%. Los resultados indicaron mejoras significativas en la capacidad de soporte del pavimento, siendo el 1.5% el porcentaje óptimo que generó el mayor incremento en los valores del CBR:

Calicata 1: 84.39% al 100% y 76.77% al 95%,

Calicata 2: 83.59% al 100% y 75.90% al 95%,

Calicata 3: 84.64% al 100% y 76.42% al 95%.

Estos resultados representan un aumento promedio del 10.3% respecto a los valores iniciales, lo que demuestra la efectividad del aceite sulfonado en la mejora estructural de las bases granulares. La investigación de Arévalo y Rondón (2018) respalda estos hallazgos al destacar que los estabilizantes químicos, como el aceite sulfonado, incrementan la resistencia al corte y reducen la deformación permanente, lo que mejora sustancialmente el desempeño del pavimento bajo condiciones de tráfico pesado y prolonga su vida útil.

Un factor crítico que favorece la aplicación de estabilizantes como el aceite sulfonado es su capacidad para reducir la permeabilidad de las capas granulares. La infiltración de agua es uno de los principales problemas que afectan el desempeño del pavimento, ya que debilita las capas inferiores y acelera la formación de fisuras, deformaciones y bombeo. Estudios realizados por Petry y Little (2002) coinciden en que la



impermeabilización de las bases granulares estabilizadas mejora la rigidez estructural y mitiga los efectos adversos del agua, permitiendo una mayor resistencia frente a condiciones climáticas adversas y tráfico constante.

El análisis también permitió determinar un espesor óptimo de la capa de afirmado de 141.94 mm, calculado con base en los valores mejorados del CBR estabilizado. Este espesor es un elemento clave, ya que optimiza el diseño estructural del pavimento y garantiza un mejor desempeño frente a las cargas vehiculares. De acuerdo con las metodologías de diseño estructural propuestas por AASHTO (1993), el uso de valores precisos del CBR en capas estabilizadas asegura una infraestructura más duradera y funcional, reduciendo el riesgo de fallas prematuras.

Desde una perspectiva económica y ambiental, los resultados obtenidos resaltan la viabilidad de la estabilización con aceite sulfonado como una solución eficiente y sostenible. La incorporación de este aditivo disminuye la necesidad de reemplazar grandes volúmenes de material granular, optimizando los costos asociados con la extracción, transporte y colocación de materiales. Además, al utilizar un subproducto de la industria petroquímica, se promueve la reutilización de recursos industriales y se reduce la explotación de materiales frescos, alineándose con estrategias modernas de infraestructura sostenible (Rao & Prasad, 2010).

En términos de durabilidad, los resultados de esta investigación sugieren que la aplicación de aceite sulfonado en la provincia de San Román no solo mejora la capacidad portante de las vías, sino que también prolonga significativamente su vida útil. Al reducir la deformación plástica, incrementar la resistencia y mitigar los efectos de la infiltración de agua, se logra una infraestructura vial más robusta y eficiente, que requiere menos intervenciones de mantenimiento a lo largo del tiempo. Estas conclusiones coinciden con estudios de Hugo (2015), donde se observó que estabilizadores químicos mejoran la rigidez estructural y reducen la fatiga del pavimento bajo cargas repetitivas.



En conclusión, los hallazgos de esta investigación demuestran que la estabilización de pavimentos flexibles mediante aceite sulfonado es una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable. El incremento en los valores de CBR, la reducción de la permeabilidad y la optimización del espesor estructural evidencian su capacidad para mejorar el desempeño de las vías de la provincia de San Román, convirtiéndose en una solución efectiva frente a los métodos convencionales de rehabilitación y mantenimiento vial.



CONCLUSIONES

- C.G.** Los resultados obtenidos indican que la estabilización con este aditivo puede ofrecer una mejora significativa en las propiedades estructurales de las bases granulares, contribuyendo a la durabilidad y estabilidad de las vías. La investigación ha evidenciado que la aplicación de aceite sulfonado no solo fortalece la estructura del pavimento, sino que también reduce la necesidad de mantenimiento frecuente, resultando en una solución económica y eficiente para las condiciones particulares de la provincia de San Román.
- C.1.** El análisis de los valores predominantes en el área de investigación relacionada con la vía en la provincia de San Román arrojó datos que indican la capacidad de soporte del terreno en los tajos evaluados. Para el pozo número 1, el índice de rodamiento de California (CBR) con 100% de compactación fue de 76,67%, pero con 95% de compactación, fue de 68,38%. Para el tajo número 2, el índice de rodamiento de California (CBR) al 100% fue del 75,58%, mientras que al 95% fue del 67,30%. Finalmente, el tajo número 3 exhibió un índice de rodamiento de California (CBR) del 100% de 75,66%, y después de una compactación del 95%, alcanzó 67,38%. Estos datos ofrecen una perspectiva definitiva sobre el comportamiento del material en situaciones naturales.
- C.2.** Las investigaciones de laboratorio indican que las muestras de suelo tratadas con aceite sulfonado en concentraciones de 0,5%, 1,0% y 1,5% exhibieron una mejora notable en la capacidad de carga. El parámetro 1.5% presentó el desempeño óptimo, arrojando los siguientes resultados: en el tajo número 1, el CBR al 100% alcanzó un valor de 84.39%, mientras que al 95% registró 76.77%. Para el tajo número 2 los resultados oscilaron entre 83,59% y 100% y entre 75,90% y 95%. Finalmente, en el tajo número 3 se documentó un CBR al 100% de 84,64%, mientras que al 95% se



alcanzó un valor de 76,42%. Los resultados indican el impacto beneficioso del aceite sulfonado en la mejora de las características del material.

- C.3.** El procedimiento de repavimentación del pavimento flexible, se define como la estabilización de la capa de base granular con la incorporación de aceite sulfonado, seguidamente se hace el diseño de espesores para la optimización de la misma y la reducción de la carpeta de rodadura, haciéndose menos costoso la conformación de la superficie de rodadura con el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular.

RECOMENDACIONES

- R.G.** Se recomienda la implementación de estabilización con aceite sulfonado en las vías de la provincia de San Román, basándose en los resultados positivos obtenidos en la evaluación del estado estructural de los pavimentos flexibles. Esta técnica ha demostrado ser efectiva en la mejora de la durabilidad y resistencia de las bases granulares, lo que sugiere una reducción en la necesidad de mantenimiento frecuente y una optimización de los costos a largo plazo.
- R.1.** Es fundamental priorizar la mejora de los valores de capacidad de soporte de las vías de la provincia de San Román, ya que los resultados actuales no cumplen con los estándares mínimos que exige la normativa establecida en el Manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este incumplimiento puede afectar negativamente la longevidad y el funcionamiento de las carreteras, lo que requerirá el uso de técnicas de intervención para garantizar el cumplimiento de las normas reglamentarias.
- R.2.** La integración de aceite sulfonado se propone como una solución viable debido a su capacidad para mejorar la capacidad de carga del suelo. Se recomienda encarecidamente investigar su aplicación con cantidades variables para evaluar con mayor precisión su eficiencia en diversas condiciones del suelo. Este método experimental determinará la proporción ideal y potenciará las ventajas que este aditivo puede ofrecer en la estabilidad y mejora del material granular.
- R.3.** Se recomienda ampliar el alcance del estudio incorporando investigaciones complementarias que examinen factores adicionales pertinentes, como los efectos a largo plazo de los tratamientos de estabilización sobre las propiedades mecánicas



del suelo. Estos estudios pueden abarcar evaluaciones extendidas de durabilidad, resistencia a ciclos de carga y descarga y la respuesta del material a variables ambientales. Estos análisis adicionales mejorarán el conocimiento general de los avances logrados y la optimización del diseño estructural de las vías.



REFERENCIAS

- Amorós Morote, C. E., & Bendezú Ulloa, J. C. (2019). Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm². *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626313>
- Andrade Ruiz, yesica. (2019, noviembre 11). *Registro de Documentos* [Pagina del congreso]. validación de instrumentos.
https://www2.congreso.gob.pe/sicr/biblioteca/Biblio_con.nsf/999a45849237d86c052577920082c0c3/96B415B0E5B5C0AA052584AF006B7372
- Balaguera, A. S., Leguizamón, O. D., & Valiente, L. L. (2018). Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): Una revisión. *Ingeniería Solidaria*, 14(26), Article 26. <https://doi.org/10.16925/in.v14i26.2417>
- Barreto Garcia, J. M., & Taco Cevallos, J. A. (2021). Estabilizacion de Base Granular con Aceite Sulfonado y Cemento Portland Tipo I del Camino Vecinal "Huasahuasi—Hacienda Calla", Tarma—Junin, KM 3+000 KM 4+000. *Universidad Ricardo Palma*.
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4934>
- Carrasco Lozano, B. L. (2022). Estabilización de la Base Granular adicionando ceniza de cáscara de arroz en diseño del pavimento rígido en pampas de hospital, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99690>
- Casanova Sanchez, L. F., & Carrasco Villar, T. M. (2024). Propuesta de mejoramiento y conservación a nivel de perfil de la serviciabilidad del corredor vial alimentador 40 del distrito de Pilcuyo, departamento de Puno. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/674740>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., Camargo Casallas, E., Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el



- desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Chircca Llacchuarimay, J. (2024). Adición del aceite sulfonado y cemento en la resistencia del material base granular con fines de pavimentación Andahuaylas Apurímac. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/145326>
- Cosio Huillca, S. F., & Franco Centeno, R. P. (2023). Diseño de pavimento flexible agregando escoria de acero como mejora de infraestructura vial en las Lomas, Ventanilla alta, 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/131990>
- Flores Ruiz, L. J., & Romero Mendo, C. A. R. (2023). Análisis correlacional entre el Índice de Penetración y el Índice CBR en el Módulo de Reacción de la Base Granular de la ciudad de Pucallpa, Ucayali. *Universidad Ricardo Palma - Repositorio Institucional*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7203>
- Fonseca, A. M., Piratova, A. M., & Piratova, A. M. (2019). *Estabilización de suelos*. Ediciones de la U.
- Gutiérrez Pariona, F. H., & Parco Ramírez, A. (2022). *Obtención de clinker de cemento a partir de cenizas volantes de incineración de residuos sólidos urbanos*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9947>
- Jia, L., Guo, J., Wei, Z., & Wu, R. (2024). Mix optimization and mechanical properties evaluation of lime-fly ash-stabilized loess in various engineering applications. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e03208. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03208>
- Mancilla Matos, A., & Arias Moreno, M. L. (2023). Uso del aceite sulfonado y cemento portland para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular de un pavimento asfáltico. *Universidad Ricardo Palma -Repositorio institucional*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7005>
- Ojeda, D. P. C. (2020). *Universo, población y muestra*.



- Ramos Galarza, C. A. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1-6.
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la Investigación Científica*. Page Publishing Inc.
- Ruiz, J. J. L. (2021). *Fatigue Deformations in Asphalt Pavements. Defat application Deformaciones por fatiga en Pavimentos Asfálticos. Programa Defat*.
- Sheonty, S. R. (2022, julio 5). *Performance Evaluation of Stabilized Base...* ERA.
<https://doi.org/10.7939/r3-z579-3h36>
- Soberon Monja, B. B. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos usando vidrio reciclado molido para su uso como Base Granular mejorada en pavimentos urbanos en la urb. Ciudad del Chofer, Chiclayo 2019*.
- Suárez P., I. T., Varguillas C., C. S., & Ronceros Morales, C. (2022). *Técnicas e instrumentos de investigación. Diseño y validación desde la perspectiva cuantitativa*.
<http://repositorio.upsjb.edu.pe/handle/20.500.14308/4759>
- Vega, S. A. D. L. C., & Cahuana, G. A. P. (2021). Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 21, Article 21. <https://doi.org/10.36561/ING.21.9>



ANEXOS



Anexo. Matriz de Consistencia

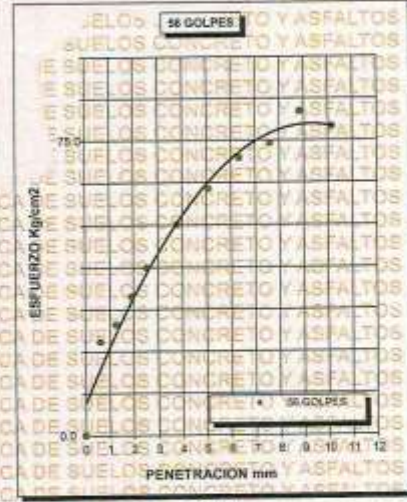
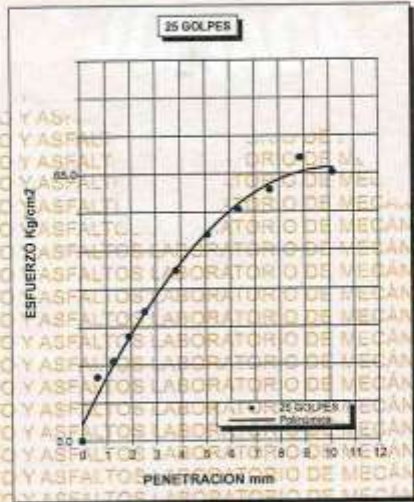
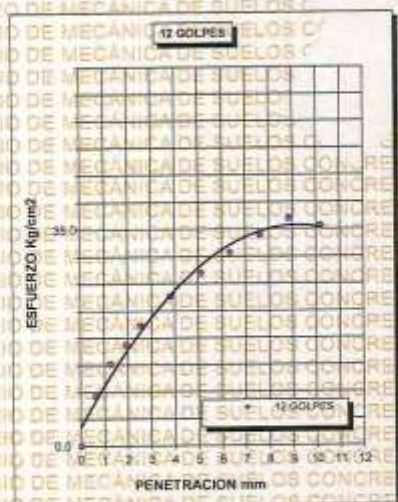
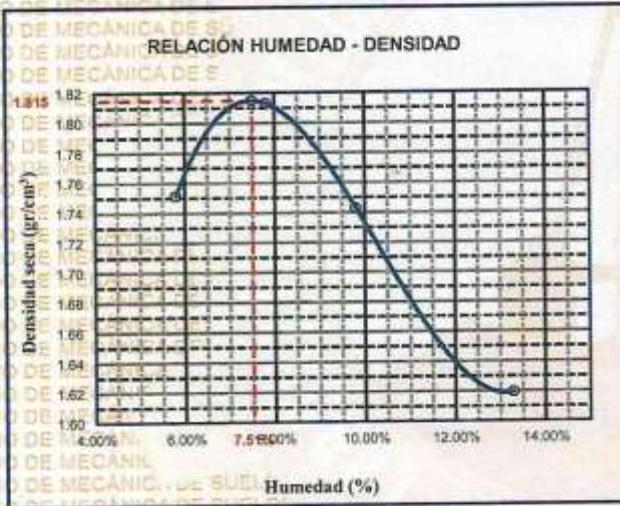
TITULO DE TESIS: “EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024”				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es el estado estructural de pavimentos flexibles a nivel de base granular para la propuesta de estabilización con aceite sulfonado en vías de la provincia de San Román 2024?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Evaluar el estado estructural de pavimentos flexibles a nivel de base granular para la propuesta de estabilización con aceite sulfonado en vías de la provincia de San Román 2024.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>El estado estructural de pavimentos flexibles a nivel de base granular para la propuesta de estabilización con aceite sulfonado en vías de la provincia de San Román 2024, se encontrarán en un estado regular.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>ACEITE SULFONADO</p> <p>Dimensiones: <i>Proporciones de adición de aceite sulfonado</i></p> <p>M+0.5% AS M+1.0% AS M+1.5% AS</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE BASE GRANULAR</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CBR 	<p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p> <p>Equipos y herramienta de Laboratorio de Concretos.</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuál es el estado de la capa de base granular de las vías a nivel de pavimento flexible de la provincia de San Román 2024?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la adición de aceite sulfonado en el material de base granular en vías de la provincia de San Román 2024?</p> <p>¿Cuál es el procedimiento de repavimentación del pavimento flexible en vías de la provincia de San Román 2024?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar el estado de la capa de base granular de las vías a nivel de pavimento flexible de la provincia de San Román 2024.</p> <p>Analizar la influencia de la adición de aceite sulfonado en el material de base granular en vías de la provincia de San Román 2024.</p> <p>Describir el procedimiento de repavimentación del pavimento flexible en vías de la provincia de San Román 2024</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>El estado de la capa de base granular de las vías a nivel de pavimento flexible de la provincia de San Román 2024, será regular ya que no cumplirán con los estándares de calidad.</p> <p>La influencia de la adición de aceite sulfonado en el material de base granular en vías de la provincia de San Román 2024, será positiva ya que mejorará las propiedades del material granular.</p> <p>El procedimiento de repavimentación del pavimento flexible en vías de la provincia de San Román 2024, será de recapeo.</p>		



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. ANTONI JOSEP APAZA FLORES	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) 1.790
UBICACIÓN : VIAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.55%
PROGRESIVA : KM 4+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 79.17
MUESTRA : SUELO NATURAL - CALICATA - M3	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 69.51
FECHA : 19 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
	AASHTO : A-2
	EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR = 36.07

CBR = 69.51

CBR = 79.17



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
Mtro. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

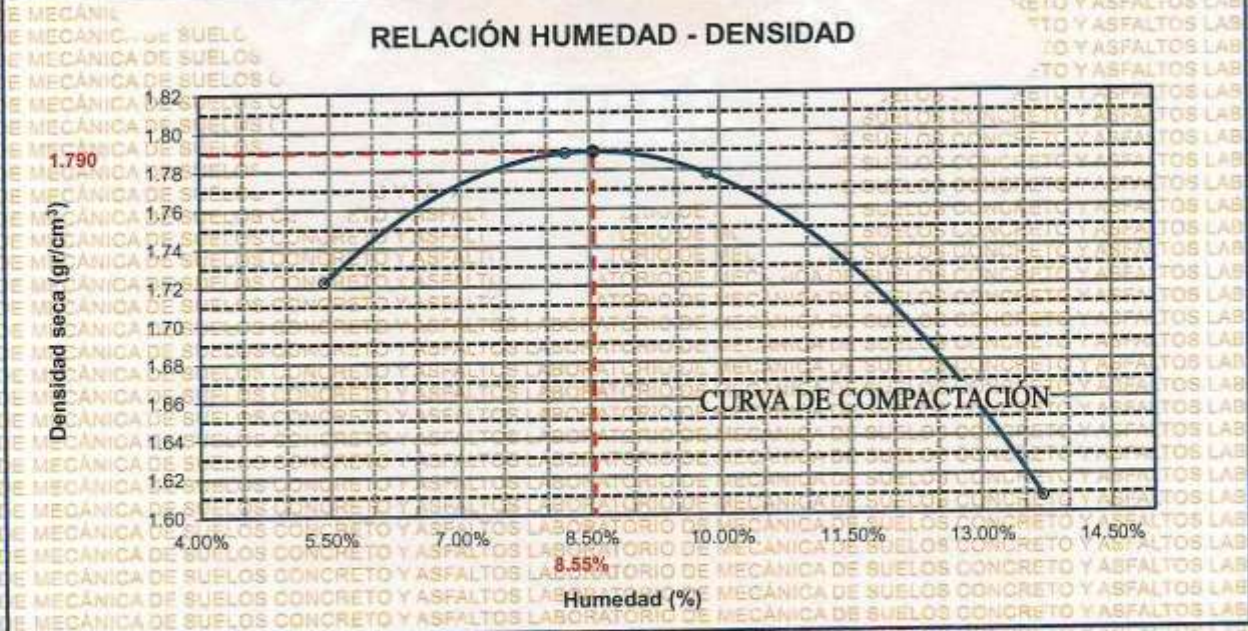
TESIS	EVALUACION DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACION CON ACEITE SULFONADO EN VIAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024
SOLICITANTE	Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES
UBICACION	VIAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMAN
PROGRESIVA	KM 4+500
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3
FECHA	19 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9797	10049	10085	9823
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	3823	4075	4111	3849
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.816	1.936	1.953	1.829

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.76	409.58	438.12	418.98	430.26	409.28	406.96	385.76
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.24	391.85	413.65	388.35	398.79	377.35	358.49	356.60
Peso del Agua	gr.	18.52	17.61	24.47	30.63	31.47	31.93	50.47	29.16
Peso de la Capsula	gr.	64.25	64.74	63.35	64.45	66.25	65.85	65.74	66.52
Peso del Suelo Seco	gr.	337.39	327.21	350.30	323.90	332.54	311.70	290.75	290.08
% de Humedad	%	5.49%	5.38%	6.99%	9.46%	9.46%	10.24%	17.38%	10.05%
Promedio de Humedad	%	5.44%		8.22%		9.85%		13.71%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.723		1.789		1.778		1.608	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA :	1.790 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA :	8.55%



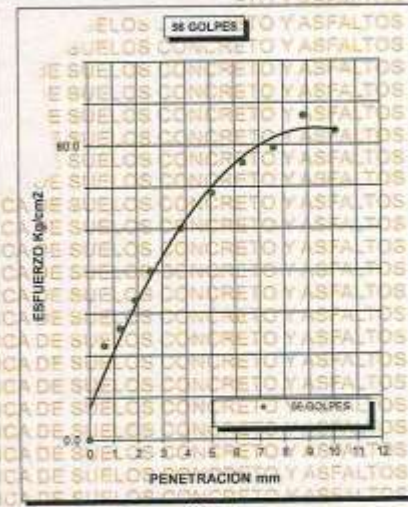
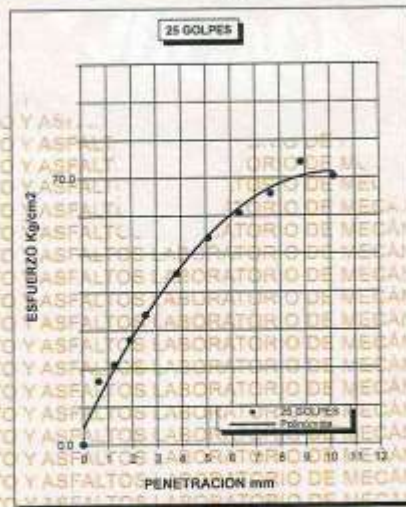
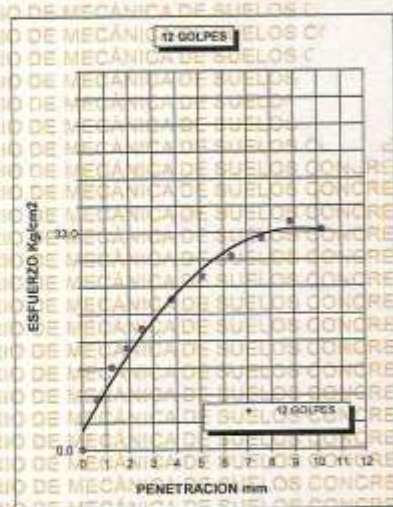
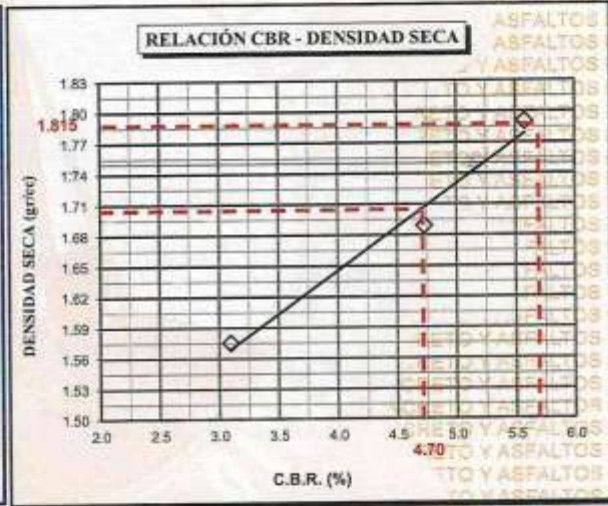
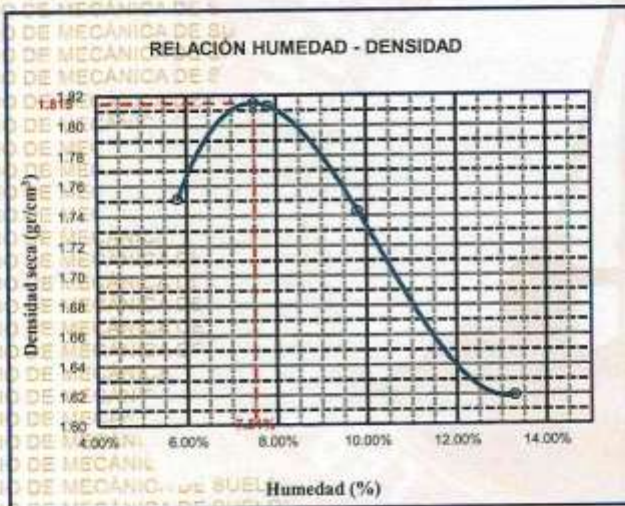
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP. INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
Mestr. Arnaldo Yano Torres
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO :	"EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024"	METODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.806
UBICACIÓN :	VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN	HUMEDAD OPTIMA (%)	7.74%
PROGRESIVA :	KM 2+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	80.41
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M2	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	70.79
FECHA :	19 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO N. 553-A
JEFATURA
[Firma]
C.I. 1033297



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

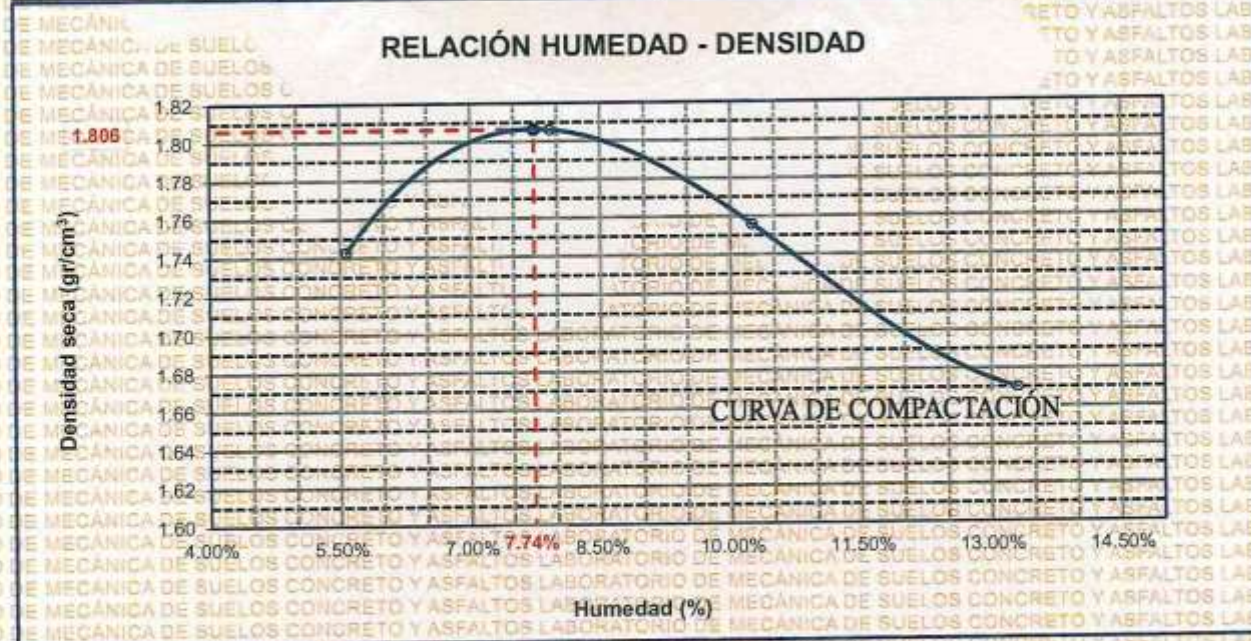
TESIS	: EVALUACION DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA
	: PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024
SOLICITANTE	: Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES
UBICACIÓN	: VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN
PROGRESIVA	: KM 2+500
MUESTRA	: CALICATA 2 - MUESTRA 2
FECHA	: 19 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2105 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9847	10077	10049	9957
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	3873	4103	4075	3983
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.840	1.949	1.936	1.892

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.46	412.52	441.73	421.82	434.35	412.63	411.89	390.67
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	405.12	395.43	416.71	392.87	399.81	380.65	361.41	362.35
Peso del Agua	gr.	20.34	17.09	25.02	28.75	34.54	31.98	50.48	28.32
Peso de la Capsula	gr.	64.87	64.79	63.77	64.77	66.25	65.45	65.65	65.37
Peso del Suelo Seco	gr.	340.25	330.64	352.94	328.10	333.56	315.20	295.78	296.98
% de Humedad	%	5.98%	5.17%	7.09%	8.78%	10.35%	10.15%	17.07%	9.94%
Promedio de Humedad	%	5.57%		7.93%		10.25%		13.30%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.743		1.806		1.756		1.670	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.806 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.74%



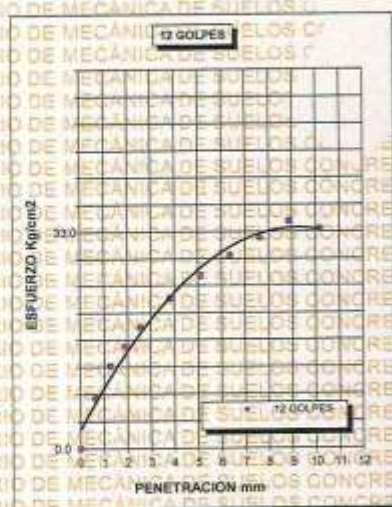
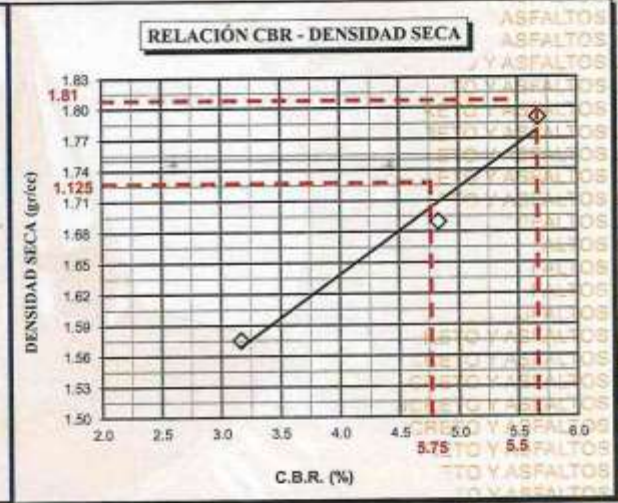
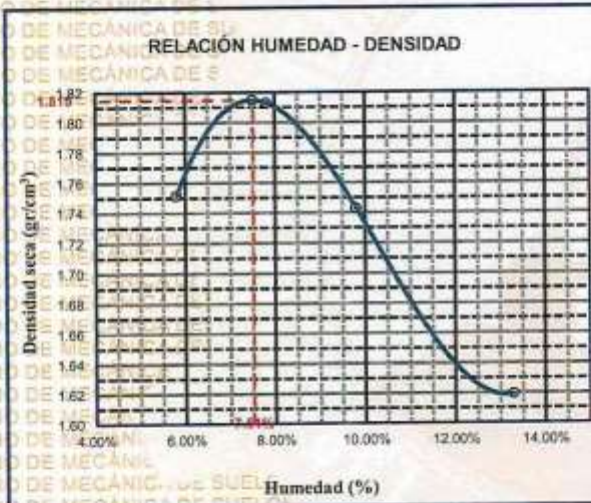
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A. DEFENSURA
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
C.I.P. 103267



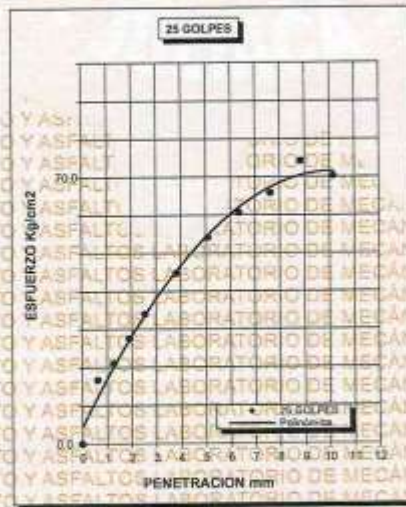
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



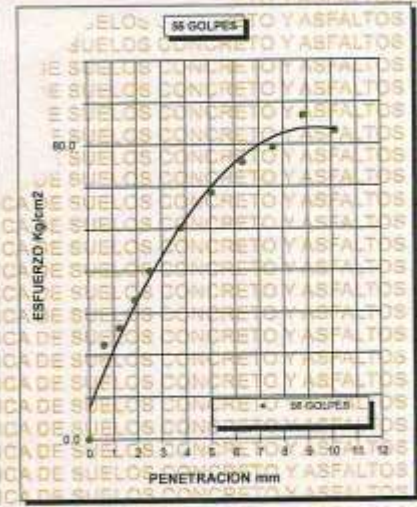
PROYECTO :	EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024*	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) 1.815
UBICACIÓN :	VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN	HUMEDAD OPTIMA (%) 7.51%
PROGRESIVA :	KM 0+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 80.72
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M1	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 71.08
FECHA :	19 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 33.17



CBR 71.08



CBR 80.72



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Metr. Arnaldo Yana Torres
MCP. 1017237



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

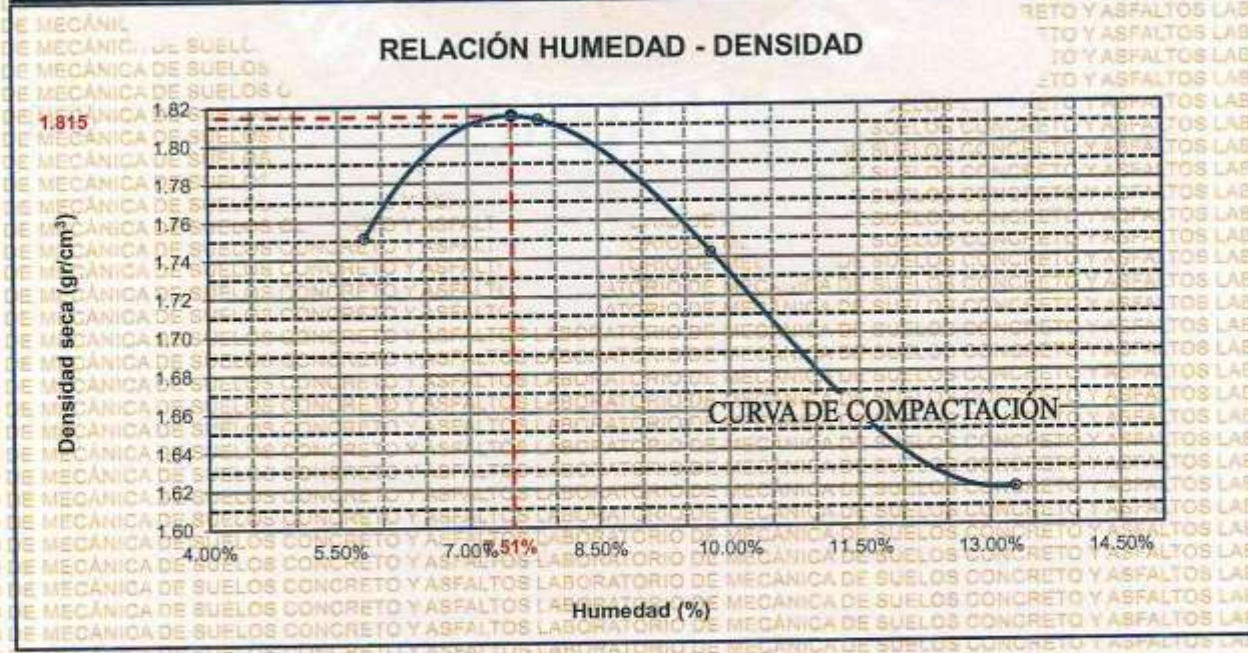
TESIS	: EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024
SOLICITANTE	: Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES
UBICACIÓN	: VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN
PROGRESIVA	: KM 0+500
MUESTRA	: CALICATA 1- MUESTRA 1
FECHA	: 19 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2105 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9874	10088	10002	9836
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	3900	4114	4028	3862
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.853	1.954	1.914	1.835

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.88	412.88	441.88	421.36	433.25	412.36	409.67	389.34
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.74	394.25	416.74	393.42	401.25	380.74	380.33	359.49
Peso del Agua	gr.	20.14	18.63	25.14	27.94	32.00	31.62	29.34	28.85
Peso de la Capsula	gr.	64.96	64.36	63.96	64.36	66.78	65.36	65.55	65.47
Peso del Suelo Seco	gr.	338.78	329.89	352.78	329.06	334.47	315.38	294.78	293.02
% de Humedad	%	5.94%	5.65%	7.13%	8.49%	9.57%	10.03%	16.74%	9.86%
Promedio de Humedad	%	5.80%		7.81%		9.80%		13.29%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.751		1.813		1.743		1.619	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.815 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.51%



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
LABORATORIO N.S.C.A. JEFATURA

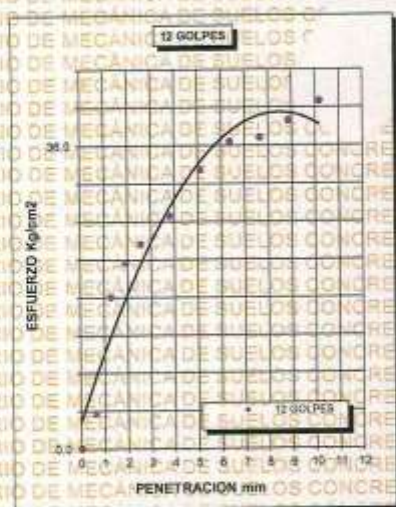
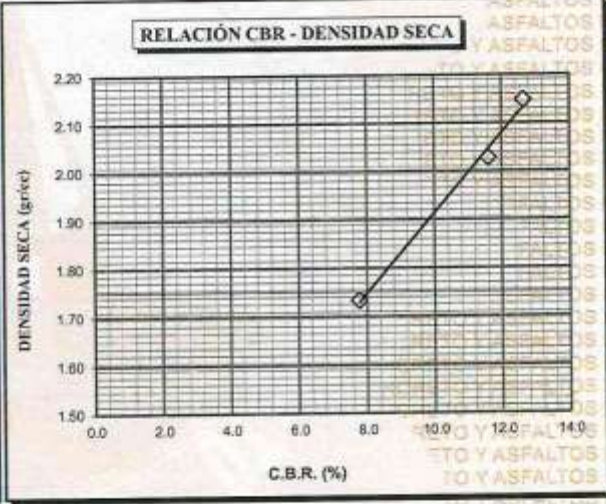
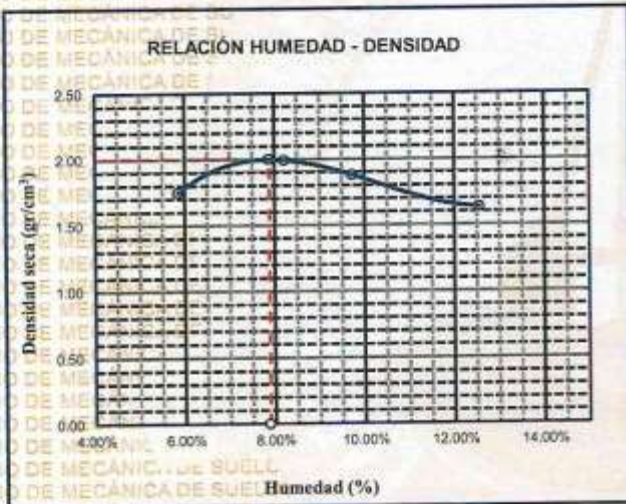
[Signature]
Ing. Arnelo Yana Torres



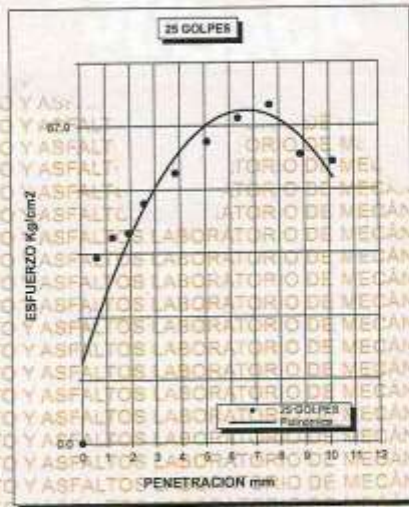
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



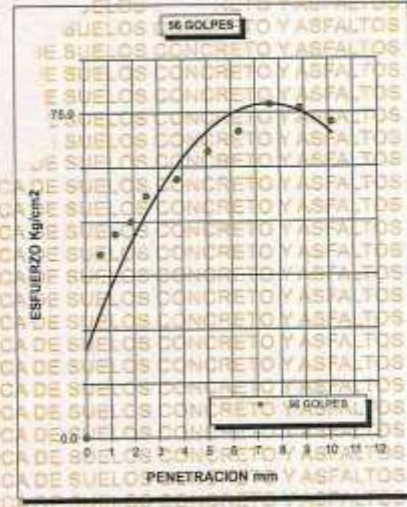
PROYECTO : EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024*	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) 2.041
UBICACIÓN : VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.70%
PROGRESIVA : KM 4+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 75.66
MUESTRA : CALICATA - M3 + 0.5% DE ACEITE SULFONADO	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 67.38
FECHA : 19 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
	AASHTO : A-2
	EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 36.78



CBR 67.38



CBR 75.66



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
 Mtr. Arnaldo Yana Torres
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024
SOLICITANTE	Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES
UBICACIÓN	VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN
PROGRESIVA	KM 4+500
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3 + 0.5% DE ACEITE SULFONADO
FECHA	19 DE AGOSTO DEL 2024

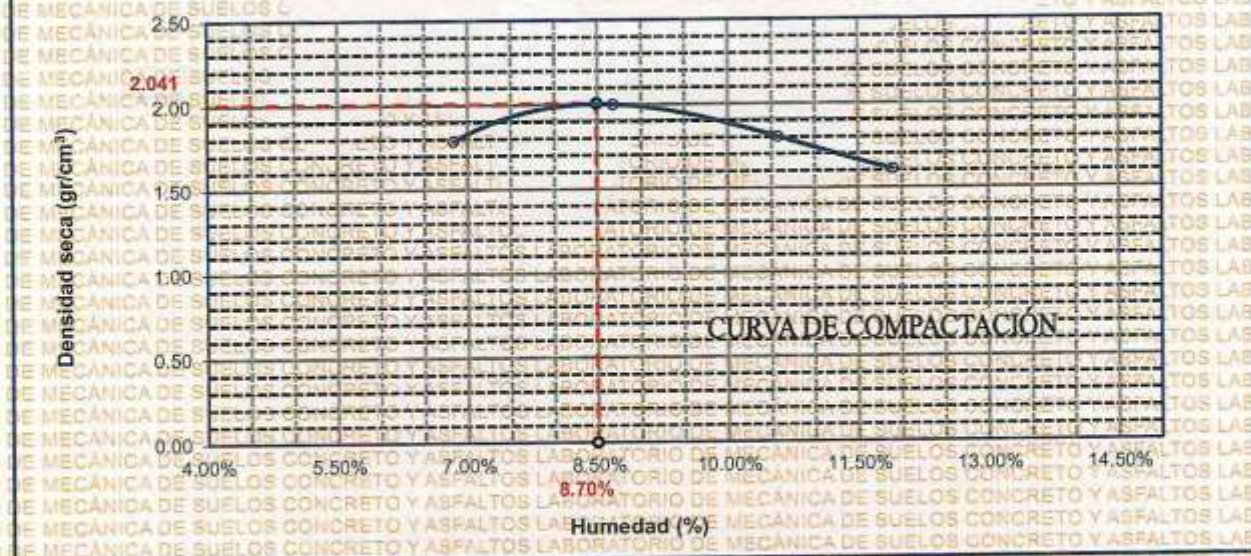
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2118 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10035	10598	10215	9802
Peso del Molde	gr.	5993	5993	5993	5993
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	4042	4605	4222	3809
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.908	2.174	1.993	1.798

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.89	415.89	438.78	420.98	425.85	416.78	405.58	392.72
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.65	392.42	413.45	388.21	392.45	382.25	363.12	365.32
Peso del Agua	gr.	22.24	23.47	25.33	32.77	33.40	34.53	43.46	27.40
Peso de la Capsula	gr.	62.45	64.85	63.58	64.52	65.36	66.69	65.87	66.74
Peso del Suelo Seco	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.56	297.25	298.58
% de Humedad	%	6.52%	7.18%	7.24%	10.12%	10.21%	10.94%	14.62%	9.18%
Promedio de Humedad	%	6.84%		8.68%		10.58%		11.90%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.786		2.001		1.803		1.607	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.041 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.70%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



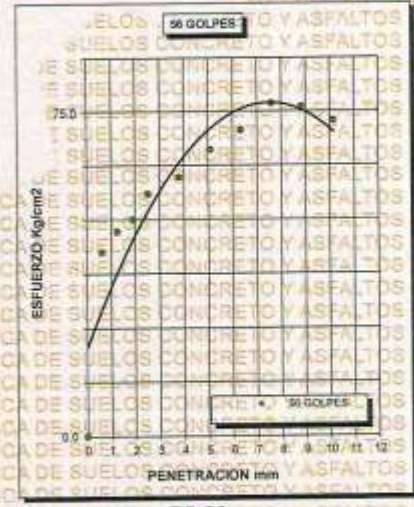
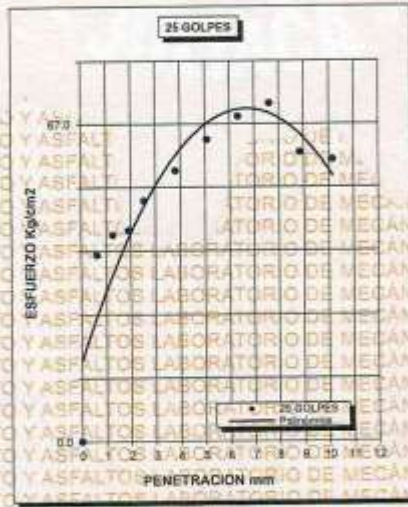
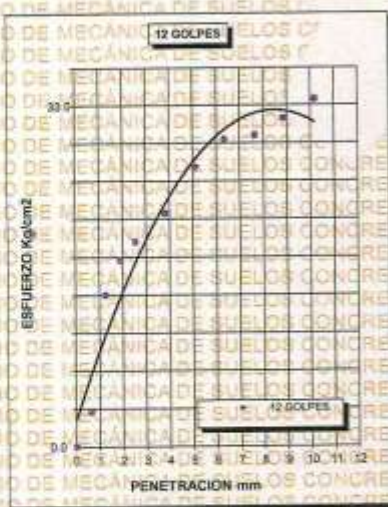
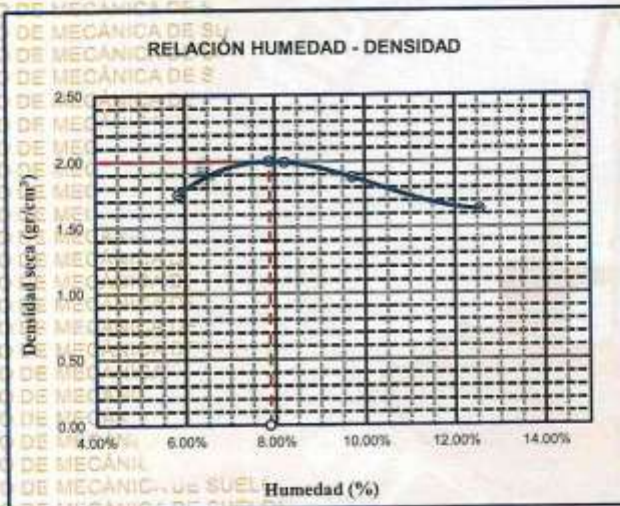
UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
 Mgr. Arnaldo Yuta Torres
 CIP: 113387



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO :	EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.) 1.987
UBICACIÓN :	VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.46%
PROGRESIVA :	KM 2+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 67.30
MUESTRA :	CALICATA - M2 + 0.5% DE ACEITE SULFONADO	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 75.68
FECHA :	19 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C. JEFATURA
[Signature]



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024
SOLICITANTE	Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES
UBICACIÓN	VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN
PROGRESIVA	KM 2+500
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2 + 0.5% DE ACEITE SULFONADO
FECHA	19 DE AGOSTO DEL 2024

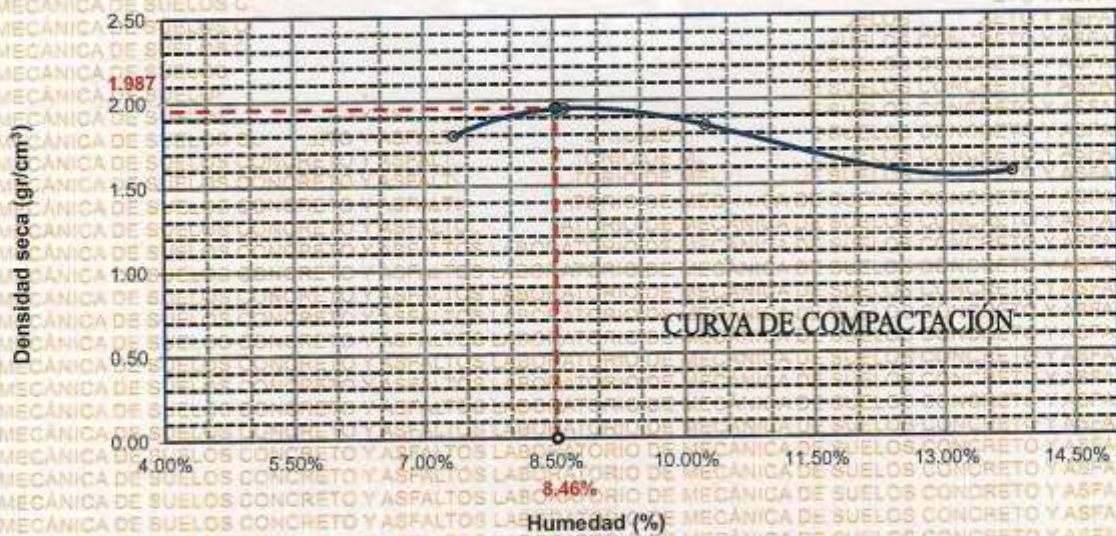
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2118 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10056	10465	10289	9741
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4082	4491	4315	3767
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.927	2.120	2.037	1.779

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.89	410.95	445.88	420.42	432.74	418.85	405.85	390.75
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	395.21	388.25	415.26	392.21	399.84	382.32	354.12	352.12
Peso del Agua	gr.	25.68	22.70	30.62	28.21	33.10	33.53	51.73	28.63
Peso de la Capsula	gr.	62.25	63.21	62.25	63.10	66.12	65.21	65.52	65.21
Peso del Suelo Seco	gr.	332.96	325.04	353.01	329.11	333.52	317.11	288.60	296.91
% de Humedad	%	7.71%	6.98%	8.67%	8.57%	9.92%	10.57%	17.92%	9.64%
Promedio de Humedad	%	7.35%		8.62%		10.25%		13.78%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.795		1.952		1.848		1.563	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA :	1.987 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA :	8.46%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



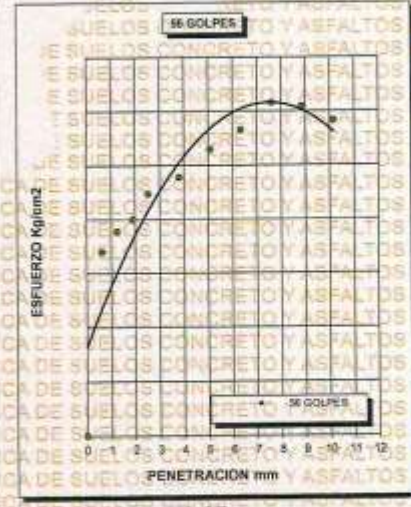
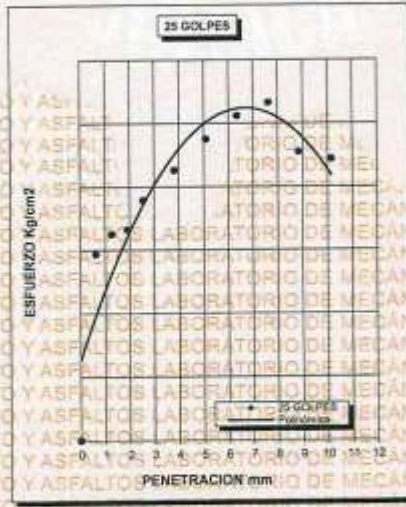
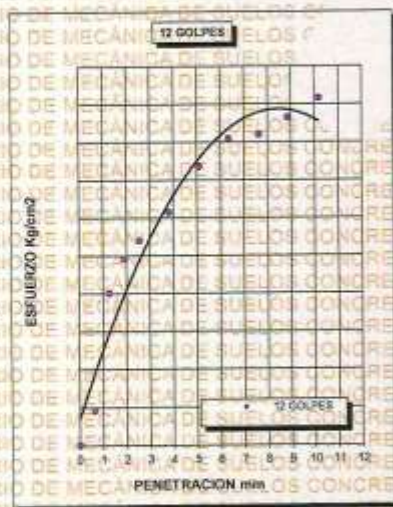
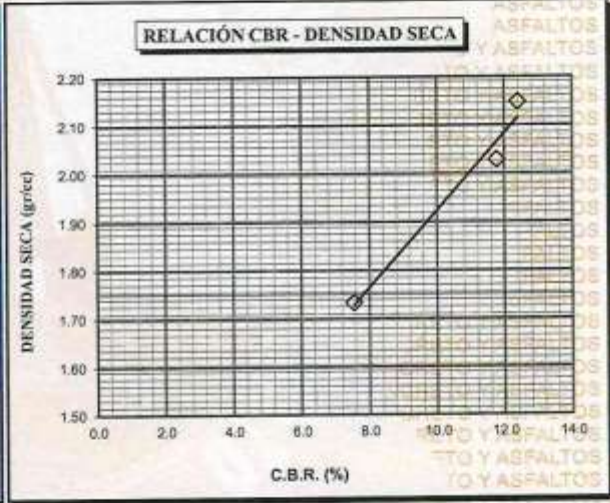
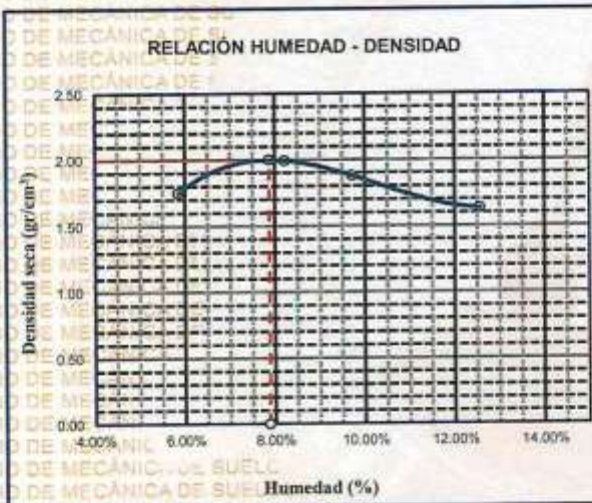
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 M.S.C.A. JEFATURA
 Antoní José Flores



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : "EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. ANTONI JHOSEP APAZA FLORES	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) 2.021
UBICACIÓN : VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN	HUMEDAD OPTIMA (%) 7.76%
PROGRESIVA : KM 0+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 76.67
MUESTRA : CALICATA - M1 + 0.5% DE ACEITE SULFONADO	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 68.38
FECHA : 19 DE AGOSTO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
	AASHTO : A-2
	EMBEBIDO : 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.C.S.
JEFATURA
Mtro. Arístides Jairo Torres
R. CIP. 403257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

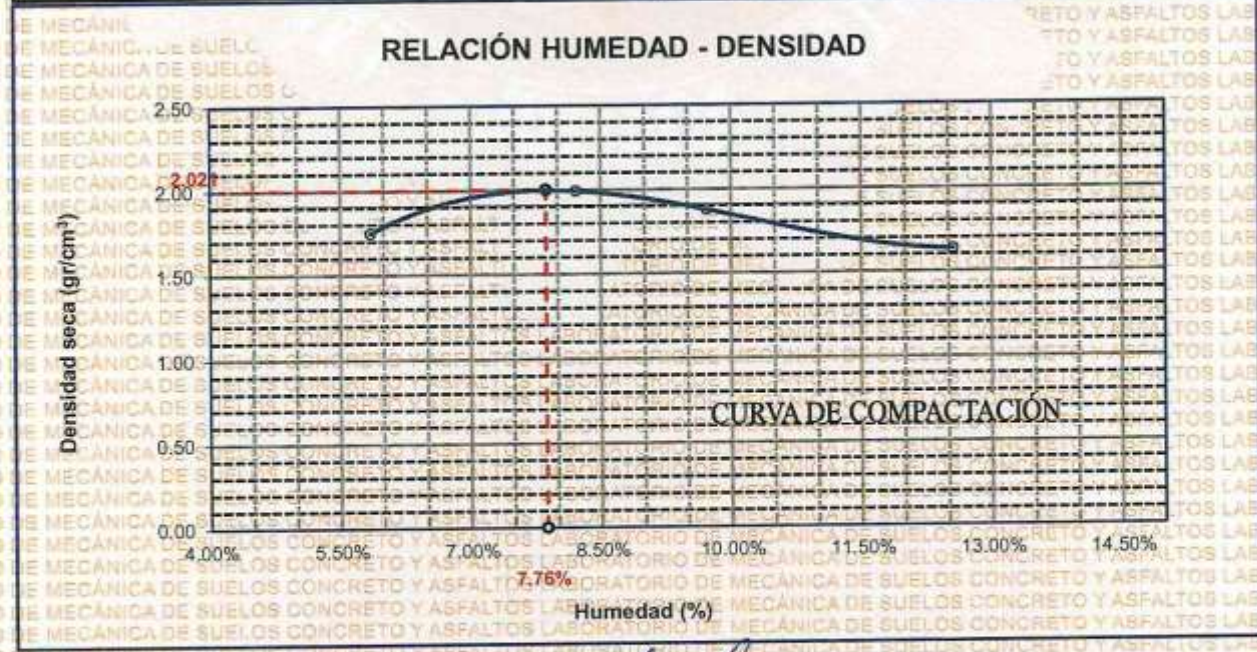
TESIS	EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024
SOLICITANTE	Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES
UBICACIÓN	VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN
PROGRESIVA	KM 0+500
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 0.5% ACEITE SULFONADO
FECHA	19 DE AGOSTO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2118 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9898	10545	10341	9874
Peso del Molde	gr.	5980	5980	5980	5980
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	3918	4565	4361	3894
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.850	2.155	2.059	1.839

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423.75	415.78	442.22	422.85	432.45	415.75	412.67	389.86
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.02	397.16	412.12	396.88	400.21	384.52	387.25	360.15
Peso del Agua	gr.	20.73	18.60	30.10	25.97	32.24	31.23	45.42	29.71
Peso de la Capsula	gr.	62.98	64.78	63.10	64.20	65.36	66.25	64.87	66.85
Peso del Suelo Seco	gr.	340.04	332.38	349.02	332.68	334.85	318.27	302.38	294.30
% de Humedad	%	6.10%	5.60%	8.62%	7.81%	9.63%	9.81%	15.02%	10.10%
Promedio de Humedad	%	5.85%		8.22%		9.72%		12.56%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.748		1.992		1.877		1.633	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.021 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	7.76%



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CAS INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A. APAZA FLORES

Mg. Arnaldo Yana Torres
 C.I.P. 173257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

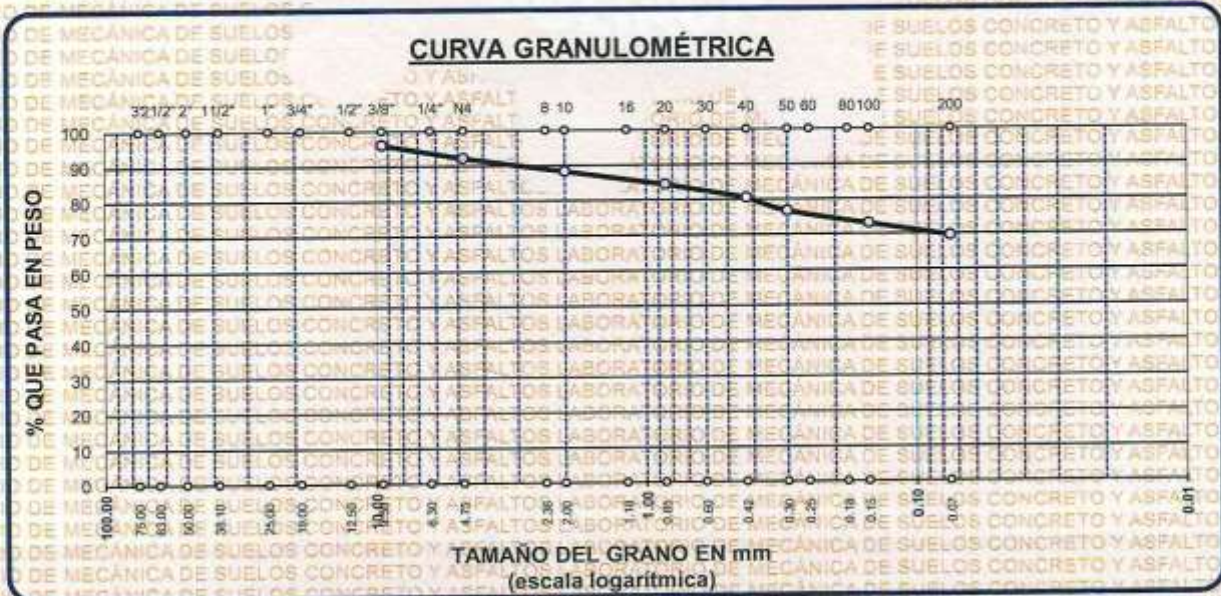


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO: EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024
SOLICITANTE: Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES
LUGAR: VÍAS RPROVINCIA DE SAN ROMÁN
PROGRESIVA: KM 2+500
MUESTRA: CALICATA 2 - MUESTRA 2
FECHA: 19 DE AGOSTO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.I.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 762.55
1 1/2"	38.100						P.P.= 1737.45
1"	25.000						% w= 23.66
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						LL.= 36.24
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 16.36
1/4"	6.300						I.P.= 19.88
No4	4.750	97.05	3.88	7.88	92.12		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	96.55	3.88	11.74	88.26		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						
No20	0.850	96.35	3.85	15.60	84.40		
No30	0.600						
No40	0.425	96.95	3.88	19.48	80.52		CLASIFICACIÓN:
No 50	0.300	96.95	3.88	23.35	76.65		I.G. = :
No60	0.250						SUCS : CH
No80	0.180						ASSTHO : A-7
No100	0.150	91.35	3.65	27.01	72.99		OBSERVACIONES:
No200	0.075	87.35	3.49	30.50	69.50		
BASE		1737.45	69.50	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA			69.50				



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE





UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

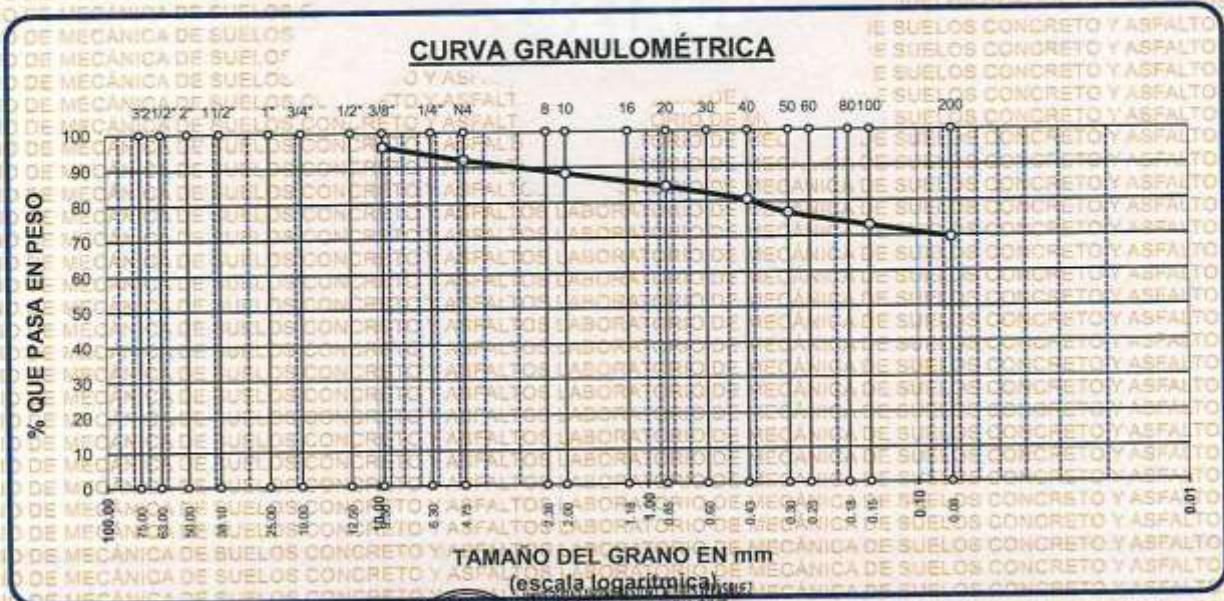


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO: EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024
SOLICITANTE: Bach. ANTONI JOSEPA APAZA FLORES
LUGAR: VÍAS RPROVINCIA DE SAN ROMÁN
PROGRESIVA: KM 0+500
MUESTRA: CALICATA 1 - MUESTRA 1
FECHA: 19 DE AGOSTO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000							P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000							P.L.= 762.95
2"	50.000							P.P.= 1737.05
1 1/2"	38.100							% w= 23.66
1"	25.000							LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000							L.L.= 36.24
1/2"	12.500							L.P.= 16.36
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00			L.P.= 19.88
1/4"	6.300							CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	97.35	3.89	7.89	92.11			D10= --- Cu= ---
No8	2.360							D30= --- Cc= ---
No10	2.000	96.95	3.88	11.77	88.23			D60= ---
No16	1.180							CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	96.75	3.87	15.64	84.36			I.G. = :
No30	0.600							SUCS : CH
No40	0.425	96.35	3.85	19.50	80.50			ASSTHO : A-7
No 50	0.300	96.35	3.85	23.35	76.65			OBSERVACIONES:
No60	0.250							
No80	0.180							
No100	0.150	91.65	3.67	27.02	72.98			
No200	0.075	87.55	3.50	30.52	69.48			
BASE		1737.05	69.48	100.00	0.00			
TOTAL		2500.00	100.00					
% PERDIDA			69.48					



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PREPARADAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE





UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PÚRAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO

EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

SOLICITANTE

Bach. ANTONI JOSEF APAZA FLORES

LUGAR

VÍAS RPROVINCIA DE SAN ROMÁN

PROGRESIVA

KM 4+500

MUESTRA

CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA

19 DE AGOSTO DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	96.76
SUELO SECO + TARRO	gr	83.43
PESO DEL TARRO	gr	25.25
PESO DEL AGUA	gr	13.33
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.18
HUMEDAD %	%	24.30

LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33.78	33.67	33.14
SUELO SECO + TARRO	gr	30.12	30.65	30.32
PESO DEL TARRO	gr	21.46	22.28	21.79
PESO DEL AGUA	gr	3.66	3.02	2.82
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.66	8.37	8.53
HUMEDAD %	%	42.26	36.08	33.06
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

	T-14	T-15
	19.97	20.88
	18.02	18.79
	8.63	8.95
	1.95	2.09
	9.39	9.84
	20.77	21.24

LÍMITE LIQUIDO % : 36.66

LÍMITE PLÁSTICO % : 20.74

ÍNDICE PLÁSTICO % : 15.92

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



INGENIERO ANDINO NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

[Firma]

Mgtr. Arnaldo Yana Torres

CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO

EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

SOLICITANTE

Bach. ANTONI JHOSEP APAZA FLORES

LUGAR

VÍAS RPROVINCIA DE SAN ROMÁN

PROGRESIVA

KM.2+500

MUESTRA

CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA

19 DE AGOSTO DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	95.49
SUELO SECO + TARRO	gr	82.22
PESO DEL TARRO	gr	25.35
PESO DEL AGUA	gr	13.27
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.87
HUMEDAD %	%	22.20

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	32.69	32.98	32.78
SUELO SECO + TARRO	gr	29.95	29.75	29.36
PESO DEL TARRO	gr	21.32	22.09	21.45
PESO DEL AGUA	gr	2.74	3.23	3.42
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.63	7.66	7.91
HUMEDAD %	%	31.75	42.17	43.24
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.12	18.75
17.43	17.32
8.15	8.96
1.69	1.43
9.28	8.36
18.21	17.11

LÍMITE LÍQUIDO % : 37.75

LÍMITE PLÁSTICO % : 17.41

ÍNDICE PLÁSTICO % : 20.34

$$LL = W_n \cdot (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - EAP. INGENIERÍA CIVIL

M^{tr.} Arnaldo Yana Torres
CIP: 113257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO

EVALUACION DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACION CON ACEITE SULFONADO EN VIAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024

SOLICITANTE

Bach. ANTONI JHOSEP APAZA FLORES

LUGAR

VIAS RPOVINCIA DE SAN ROMAN

PROGRESIVA

KM 0+500

MUESTRA

CALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA

19 DE AGOSTO DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	93.78
SUELO SECO + TARRO	gr	80.61
PESO DEL TARRO	gr	25.42
PESO DEL AGUA	gr	13.17
PESO DEL SUELO SECO	gr	55.19
HUMEDAD %	%	23.66

LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LIQUIDO

LÍMITE PLÁSTICO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.79	30.29	31.27
SUELO SECO + TARRO	gr	29.26	28.74	28.09
PESO DEL TARRO	gr	21.54	22.87	21.41
PESO DEL AGUA	gr	2.53	1.55	3.18
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.72	5.87	6.68
HUMEDAD %	%	32.77	26.41	47.60
N° DE GOLPES	-	31	24	14

T-14	T-15
18.35	18.75
17.43	17.22
8.34	8.67
0.92	1.53
9.09	8.55
10.12	17.89

LÍMITE LIQUIDO % : 36.24

LÍMITE PLÁSTICO % : 16.36

ÍNDICE PLÁSTICO % : 19.88

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



Metr. Arnaldo Yana Torres
EIP. 103257



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 09-01-2025

I. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ANTONI JHOSEP APAZA FLORES

Dirección: Jr. J.A. ENCINAS 138

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70062782

Teléfono: 945 908 458 email: antoniapazaflores@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: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EVALUACIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL DE

BASE GRANULAR PARA LA PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON ACEITE

SULFONADO EN VÍAS DE LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): SUBRASANTE, CAL VIVA, CENIZAS, CBR

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

1

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

09-01-2025

Fecha