



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



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA
SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO
Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA
FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA

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

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA
SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO
Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA
FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA


PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:


PRESIDENTE

:


Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA


PRIMER MIEMBRO

:


Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

SEGUNDO MIEMBRO

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

ASESOR DE TESIS

:


Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



RESOLUCIÓN DECANAL N° 920-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 29 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 11619 presentado por el (la) Bachiller: NELSON YAIR MAMANI SACACA 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) Hach. NELSON YAIR MAMANI SACACA, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SERRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA**, 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. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- * **2do Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Mgtr. FRANS JOSEPH BARAHONA PERALES.

ARTICULO TERCERO.- APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: NELSON YAIR MAMANI SACACA; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SERRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Viernes 06 de setiembre del 2024
- * **HORA** : 15:00 p.m.
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



[Signature]
Dr. MILTON CISNE HUANCA
DECANO
CIP. 47799



[Signature]
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc. Archivo interesado (s)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 396-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 10 de junio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 6491 por el o (la) Bachiller: NELSON YAIR MAMANI SACACA quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 451 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 066 - 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el o (la) Bachiller: NELSON YAIR MAMANI SACACA, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA**, 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 Mgtr. 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° 066 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA**, 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 o (la) Bachiller: NELSON YAIR MAMANI SACACA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA** 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), Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES.

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.


MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

cc.
Archivo
interesado (s)


DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



RESOLUCIÓN DECANAL N° 233-2024-D.UI-FICP-UANCV

Juliaca, 29 de abril del 2024

VISTO: El expediente N° 2024 - 05163, presentado por el señor (a) **NELSON YAIR MAMANI SACACA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 261-2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 100 -2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) estudiante: **NELSON YAIR MAMANI SACACA** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA**, 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 Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 100 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA**.

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 caso 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 o (la) Bachiller: **NELSON YAIR MAMANI SACACA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a) docente Mgtr. **FRANZ JOSEPH SARAHONA PERALES**.

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.


MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
C.I. 47790


Efraín Perillo Caza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

CC:
INTERESADO (a)



ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE UN SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

18 %

FUENTES DE INTERNET

4 %

PUBLICACIONES

11 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	7 %
----------	---	------------

2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
----------	---	------------

3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
----------	---	------------

4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
----------	---	------------

5	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1 %
----------	---	------------

6	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1 %
----------	--	------------

7	www.repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1 %
----------	--	------------

repositorio.upla.edu.pe




Metadatos Complementarios



Título de la tesis	
ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	Nelson Yair Mamani Sacaca
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70130655
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-5375-0706
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Franz Joseph Barahona Perales
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Oscar Vicente Viamonte Calla
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Efrain Parillo Sosa
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676



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/PALFvs1H2rCu8SnsP6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2024 - Agosto 2024
URL de disciplinas OCDE - Librería	<p>Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03 Ingeniería estructural y municipal https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.04</p>



Dr. Efraín Pareda Soto
 DIRECTOR
 OFICINA DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NELSON YAIR MAMANI SACACA, identificado con DNI

Nro. 70130655, 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:

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXÍDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

Asesorado por: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

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, 19 de setiembre del 2024


Firma del Asesor (obligatoria)


Firma del Estudiante (obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

A mis queridos abuelos, con todo mi amor y gratitud, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida. Su sabiduría, amor incondicional y apoyo constante han sido la luz que me ha guiado en cada paso de este camino académico.



AGRADECIMIENTO

A mi universidad y a mi asesor por darme
sabiduría y apoyo constante.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	xiii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la situación problemática	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación	4
1.4.1. Justificación técnica.....	4
1.4.2. Justificación social.....	4
1.4.3. Justificación ambiental.....	4
1.5. Hipótesis de la investigación.....	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2. Hipótesis específicas	5
1.6. Variables e indicadores	5
1.6.1. Variable independiente	5
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.7. Operacionalización de variables	7



CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

- 2.1. Antecedentes de la investigación..... 8
 - 2.1.1. Antecedentes internacionales..... 8
 - 2.1.2. Antecedentes nacionales..... 10
 - 2.1.3. Antecedentes locales..... 12
- 2.2. Bases teóricas 14
 - 2.2.1. Suelo 14
 - 2.2.2. Carreteras 25
 - 2.2.3. Ensayos Proctor 35
 - 2.2.4. Estabilización de suelos 40
 - 2.2.5. Subrasante 44
 - 2.2.6. Subrasante en carreteras 54
 - 2.2.7. Oxido de calcio 64
 - 2.2.8. Conchas marinas trituradas 72
- 2.3. Marco conceptual 83

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

- 3.1. Diseño de la investigación 85
- 3.2. Método de la investigación 85
- 3.3. Nivel y tipo de la investigación 86
 - 3.3.1. Nivel de la investigación 86
 - 3.3.2. Tipo de la investigación 86
- 3.4. Población y muestra 87
 - 3.4.1. Población..... 87
 - 3.4.2. Muestra 87
- 3.5. Técnicas e instrumentos 88
 - 3.5.1. Técnicas 88
 - 3.5.2. Instrumentos..... 88
- 3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos 89
 - 3.6.1. Desarrollo del plan de investigación 89



3.6.2. Procesamiento y análisis de datos..... 103

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados obtenidos 104

4.1.1. Resultados de las propiedades físicas y mecánicas del estrato de subrasante..... 104

4.1.2. Resultados sobre la aplicación de óxido de calcio y Conchas marinas en proporciones variables en el índice de plasticidad del estrato de subrasante 107

4.1.3. Resultados de la aplicación de Óxido de calcio y Conchas marinas en proporciones variables en el grado de compactación del estrato de subrasante.... 114

4.1.4. Resultados de la aplicación de Óxido de calcio y Cochas marinas en proporciones variables en la capacidad de soporte CBR del estrato de subrasante
120

4.1.5. Comparativo de los resultados obtenidos 126

4.2. Discusión de Resultados 132

CONCLUSIONES 134

RECOMENDACIONES 135

BIBLIOGRAFÍA..... 136

ANEXOS 140



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	7
Tabla 2	Clasificación de suelos según tamaño de partículas.....	14
Tabla 3	Clasificación de la subrasante	40
Tabla 4	Cantidad de muestra para los ensayos.....	87
Tabla 5	Ubicación de las calicatas.....	90
Tabla 6	Humedad en los especímenes de las calicatas	104
Tabla 7	Análisis granulométrico de las calicatas.....	105
Tabla 8	ÍP del suelo natural	106
Tabla 9	Grado de compactación de las muestras.....	106
Tabla 10	Capacidad de soporte CBR de las muestras	107
Tabla 11	Índice de plasticidad SN + 4% OC	108
Tabla 12	Índice de plasticidad SN + 8% OC	109
Tabla 13	Índice de plasticidad SN + 12% OC	110
Tabla 14	Índice de plasticidad SN + 4% CM.....	111
Tabla 15	Índice de plasticidad SN + 6% CM.....	112
Tabla 16	Índice de plasticidad SN + 8% CM.....	113
Tabla 17	Grado de compactación SN + 4% OC	114
Tabla 18	Grado de compactación SN + 8% OC	115
Tabla 19	Grado de compactación SN + 12% OC.....	116
Tabla 20	Grado de compactación SN + 4% CM	117
Tabla 21	Grado de compactación SN + 6% CM	118
Tabla 22	Grado de compactación SN + 8% CM	119
Tabla 23	CBR del SN + 4% OC.....	120
Tabla 24	CBR del SN + 8% OC.....	121
Tabla 25	CBR del SN + 12% OC.....	122
Tabla 26	CBR del SN + 4% CM.....	123
Tabla 27	CBR del SN + 6% CM.....	124
Tabla 28	CBR del SN + 8% CM.....	125
Tabla 29	Comparativo del IP con la adición del OC.....	126
Tabla 30	Comparativo del IP con la adición de CM	127
Tabla 31	Comparativo del GC con la adición del OC.....	128
Tabla 32	Comparativo del GC con la adición de CM	129
Tabla 33	Comparativo del CBR con la adición de OC	130
Tabla 34	Comparativo del CBR con la adición de CM	131



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Carta de plasticidad 24

Figura 2 Proctor estándar 36

Figura 3 Proctor modificado 37

Figura 4 Ensayo de CBR 39

Figura 5 Suelos establecidos con cal 69

Figura 6 Conchas marinas trituradas 73

Figura 7 Ubicación de la vía 89

Figura 8 Óxido de calcio 90

Figura 9 Conchas marinas trituradas 91

Figura 10 Pesado de la muestra del suelo 93

Figura 11 Plasticidad del suelo 97

Figura 12 Ensayo de análisis granulométrico 99

Figura 13 Ensayo de Proctor modificado 101

Figura 14 Índice de plasticidad SN + 4% OC 108

Figura 15 Índice de plasticidad SN + 8% OC 109

Figura 16 Índice de plasticidad SN + 12% OC 110

Figura 17 Índice de plasticidad SN + 4% CM 111

Figura 18 Índice de plasticidad SN + 6% CM 112

Figura 19 Índice de plasticidad SN + 8% CM 113

Figura 20 Grado de compactación SN + 4% OC 114

Figura 21 Grado de compactación SN + 8% OC 115

Figura 22 Grado de compactación SN + 12% OC 116

Figura 23 Grado de compactación SN + 4% CM 117

Figura 24 Grado de compactación SN + 6% CM 118

Figura 25 Grado de compactación SN + 8% CM 119

Figura 26 CBR del SN + 4% OC 120

Figura 27 CBR del SN + 8% OC 121

Figura 28 CBR del SN + 12% OC 122

Figura 29 CBR del SN + 4% CM 123

Figura 30 CBR del SN + 6% CM 124

Figura 31 CBR del SN + 8% CM 125

Figura 32 Comparativo del IP con la adición del OC 126

Figura 33 Comparativo del IP con la adición de CM 127

Figura 34 Comparativo del GC con la adición del OC 128



Figura 35 Comparativo del GC con la adición de CM.....	129
Figura 36 Comparativo del CBR con la adición de OC.....	130
Figura 37 Comparativo del CBR con la adición de CM.....	131



RESUMEN

La presente investigación denominada "Estudio comparativo de las propiedades de la subrasante con empleo de óxido de calcio y conchas trituradas en la Avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca", tiene la finalidad de evaluar la incidencia de la adición del óxido de calcio y conchas marinas trituradas en la estabilización del suelo en la Avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca. La metodología presenta un tipo aplicada, método científico, nivel explicativo, diseño experimental de estudio; además, la muestra estuvo conformado por la subrasante de la Avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca, con la adición de Óxido de calcio en 4%, 8% y 12% y Conchas marinas trituradas en 4%, 6% y 8% respectivamente. Los resultados obtenidos presentan un suelo que presenta un Índice de Plasticidad de 15.70%, lo que define como un suelo con una plasticidad media. Además, la densidad seca máxima (MDS) promedio es de 1.731 gr/cc, con un OCH del 18.05%, indicando una compactación relativamente baja. La capacidad de soporte CBR al 95% de la MDS se sitúa en 3.23%, lo que señala que la subrasante es adecuada. La adición de óxido de calcio en proporciones del 4%, 8% y 12% resulta en una reducción del 7% en el Índice de Plasticidad en comparación con el suelo natural de referencia. De manera similar, al adicionar las conchas marinas trituradas en concentraciones de 4%, 6% y 8%, se observa una disminución del 3% en el Índice de Plasticidad en relación con el suelo natural. La adición de óxido de calcio en concentraciones del 4%, 8% y 12% conlleva a una disminución del 5% en la máxima densidad seca, indicando una menor compactación. Asimismo, al incorporar conchas marinas trituradas en proporciones del 4%, 6% y 8%, se observa una reducción del 4% en la MDS en comparación con el SN. La adición de óxido de calcio en concentraciones del 4%, 8% y 12% muestra un efecto positivo en la capacidad de soporte CBR, con un aumento gradual. Se destaca que el porcentaje óptimo es del 8%, alcanzando un valor de 10.34% al 95% de la MDS. Por otro lado, al utilizar conchas marinas trituradas en proporciones de 4%, 6% y 8%, se observa un incremento positivo en el CBR,



siendo el 8% el porcentaje óptimo. Estos resultados demuestran mejoras con respecto a la muestra estándar del SN.

Palabras Clave: Óxido de calcio, Conchas marinas, Subrasante, Grado de compactación, Índice de plasticidad, CBR.



ABSTRACT

The present investigation called "Comparative study of the properties of the subgrade with the use of calcium oxide and crushed shells on Avenida Ferrocarril in the city of Juliaca", has the purpose of evaluating the incidence of the addition of calcium oxide and seashells crushed in the stabilization of the soil on Avenida Ferrocarril in the city of Juliaca. The methodology presents an applied type, scientific method, explanatory level, experimental study design; In addition, the sample was made up of the subgrade of Avenida Ferrocarril in the city of Juliaca, with the addition of calcium oxide in 4%, 8% and 12% and crushed seashells in 4%, 6% and 8% respectively. The results obtained present a soil that has a Plasticity Index of 15.70%, which defines it as a soil with a medium plasticity. Furthermore, the average maximum dry density (MDS) is 1,731 gr/cc, with an optimal moisture content of 18.05%, indicating relatively low compaction. The CBR support capacity at 95% of the MDS is 3.23%, which indicates that the subgrade is adequate. The addition of calcium oxide in proportions of 4%, 8% and 12% results in a 7% reduction in the Plasticity Index compared to the natural reference soil. Similarly, when adding crushed seashells in concentrations of 4%, 6% and 8%, a 3% decrease in the Plasticity Index is observed in relation to the natural soil. The addition of calcium oxide in concentrations of 4%, 8% and 12% leads to a 5% decrease in the maximum dry density, indicating less compaction. Likewise, when incorporating crushed seashells in proportions of 4%, 6% and 8%, a 4% reduction in the maximum dry density is observed compared to natural soil. The addition of calcium oxide at concentrations of 4%, 8% and 12% shows a positive effect on the CBR bearing capacity, with a gradual increase. It is highlighted that the optimal percentage is 8%, reaching a value of 10.34% at 95% of the MDS. On the other hand, when using crushed seashells in proportions of 4%, 6% and 8%, a positive increase in the CBR support capacity is observed, with 8% being the optimal percentage. These results demonstrate improvements over the standard natural soil sample.



Keywords: Calcium oxide, Marine shells, Subgrade, Compaction degree, Plasticity index, CBR.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la capa de subrasante tiene una importancia significativa en la composición de un pavimento, ya que el espesor de las demás capas depende de su calidad. La evaluación de una estructura se basa en su capacidad de carga, y es crucial tener en cuenta la susceptibilidad al agua del suelo de subrasante.

Hoy en día, se ha ideado una amplia gama de técnicas, que incluyen procesos mecánicos como la compactación, así como ayudas químicas como el óxido de calcio o cal viva, cemento, cloruro de sodio, etcétera. La estabilización con cal es un método empleado para regular las propiedades de expansión y contracción del suelo expansivo en este escenario concreto. La estabilización del suelo ha implicado históricamente la aplicación de cal, que ha demostrado su eficacia para mitigar la expansión del suelo y aumentar su resistencia. La reacción entre la cal y el suelo da lugar a la formación de nuevos compuestos que no son solubles en agua. Este proceso aumenta la capacidad del suelo para resistir al agua y disminuye su flexibilidad.

De igual manera una alternativa son las conchas marinas trituradas pueden ser utilizadas como estabilizantes para mejorar las propiedades físicas y mecánicas. La incorporación de conchas marinas puede mejorar la estabilidad de la subrasante al regular las propiedades de expansión y contracción del suelo expansivo, dando lugar a una subrasante más duradera y firme. Además, la incorporación de conchas marinas puede mejorar las características físicas y químicas de la subrasante, dando lugar a un aumento favorable de la capacidad portante del suelo y mejorando la clasificación de la subrasante de regular a buena.

En Juliaca, las frecuentes precipitaciones dañan constantemente las vías de acceso a toda la ciudad, lo que provoca importantes pérdidas económicas y aísla a la población. Los suelos blandos son especialmente vulnerables a estos daños. Para hacer frente a este



problema, una solución propuesta consiste en determinar el porcentaje ideal de óxido de calcio, que aumentará la capacidad de carga del suelo y, en última instancia, mejorará el rendimiento de la subrasante.

El propósito principal de este estudio es incorporar el componente químico "óxido de calcio" al proceso de estabilización del suelo. Esto se hace para mejorar las cualidades físicas y mecánicas del suelo mediante la determinación de la proporción óptima de suelo y óxido de calcio, con el objetivo final de mejorar la subrasante. Se utilizaron muestras de suelo recogidas de la vía afirmada de la Avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca, junto con óxido de calcio en su fase de prueba.

El capítulo I, se plantea el problema de la investigación, presentando la problemática, los objetivos generales y específicos, la justificación e hipótesis y finalmente las variables, que son el punto de inicio para el desarrollo de este estudio.

El capítulo II, primeramente presentamos los antecedentes de la investigación, en el ámbito internacional, local y nacional. Además se presenta el marco teórico para conocer los conceptos básicos más importantes del estudio, y por último, el marco conceptual que se apoyan en la mención de los autores citados.

El capítulo III, se desarrolla lo concerniente a la metodología de la investigación, en la cual se define el diseño, método, nivel y el tipo de investigación que corresponde al tema de esta investigación, las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la evaluación de este estudio y finalmente se detallan la población y muestra objeto de evaluación.

El capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos a través de los cálculos, estos resultados se muestran en tablas y gráficos comparativos; luego se presenta la discusión de resultados.

Por último, este estudio presenta la discusión de resultados, las conclusiones, y recomendaciones, las referencias utilizadas para una mejor comprensión del tema y



anexos que incluyen pruebas fotográficas, formularios de inspección visual y certificados de calidad expedidos por el laboratorio.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la situación problemática

En la actualidad hay una proporción significativa de carreteras en nuestro país que carecen de pavimento. Esto repercute negativamente en la capacidad de los vehículos para circular sin problemas, lo que provoca la degradación de los neumáticos. Además, el clima local agrava la situación al provocar inestabilidad, lo que afecta directamente a los cimientos subyacentes de la carretera.

En el ámbito mundial, Varios países, entre ellos Inglaterra, México y Ecuador, han empleado diferentes métodos de estabilización de suelos naturales para mejorar su capacidad de carga, rendimiento y propiedades mecánicas (resistencia a diversas cargas). Estos métodos incluyen el proceso y la estabilización con cal, la mezcla de cemento con suelos arcillosos y el uso de cloruro de calcio y cloruro de sodio. Técnicas que mejoraron significativamente la estabilización en términos económicos, medioambientales y tecnológicos. (Bravo & Daza, 2019).

En el distrito de Pachacamac, en Lima, hay un centro poblado llamado Manchay, que tiene una parte importante de su terreno cubierto por caminos de tierra. Se ha observado una abundante actividad vehicular que genera una importante cantidad de



polvo. Este polvo supone una molestia para los residentes, ya que es uno de los principales causantes de dolencias respiratorias. Además, se observó que tanto los viandantes como los conductores sufrían molestias debido a los problemas de visibilidad, lo que podría dar lugar a accidentes. (Chavez, 2022).

A nivel local, Examinamos la importante demanda de agregados pétreos, que conduce al empobrecimiento de los recursos naturales, lo que hace necesaria la adopción de materiales alternativos para sustituir a los agregados tradicionales. Los residuos se componen principalmente de conchas de ostras, almejas, vieiras y mejillones. La mayoría de estas conchas se depositan en vertederos, y sólo una pequeña parte se destina a otros usos, como fertilizantes y artesanía. (Padilla, 2020).

En Juliaca, las frecuentes precipitaciones dañan constantemente las vías de acceso a toda la ciudad, lo que provoca importantes pérdidas económicas y aísla a la población. Los suelos blandos son especialmente vulnerables a estos daños. Para hacer frente a este problema, una solución propuesta consiste en determinar el porcentaje ideal de óxido de calcio, que aumentará la capacidad de carga del suelo y, en última instancia, mejorará el rendimiento de la subrasante.

El propósito primordial de esta investigación es incorporar el componente químico "óxido de calcio" al proceso de estabilización del suelo. Esto se hace para mejorar las cualidades físicas y mecánicas del suelo mediante la determinación de la proporción óptima de suelo y óxido de calcio, con el objetivo final de mejorar la subrasante. Se utilizaron muestras de suelo recogidas de la vía afirmada de la Avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca, junto con óxido de calcio en su fase de prueba.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la variación de las propiedades de la subrasante con el empleo de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?



1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?
2. ¿Cuál es la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en el índice de plasticidad del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?
3. ¿Cuál es la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en el grado de compactación del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?
4. ¿Cuál es la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en la capacidad de soporte CBR del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Analizar y comparar la variación de las propiedades de la subrasante con el empleo de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.
2. Determinar la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en el índice de plasticidad del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.



3. Determinar la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en el grado de compactación del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.
4. Determinar la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en la capacidad de soporte CBR del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación técnica

El estudio propuesto pretende mejorar las tecnologías de estabilización de suelos, fomentando así la construcción sostenible de carreteras. Además, pretende avanzar en la comprensión de los procedimientos de combinación y dosificación de materiales naturales del suelo con óxido de calcio y conchas marinas trituradas.

1.4.2. Justificación social

La investigación propuesta pretende mejorar la calidad de vida de la población utilizando óxido de calcio y conchas marinas trituradas de forma sostenible y ecológica para mejorar los suelos de subrasante de carreteras y accesos a la población en la ciudad. Este enfoque también promueve las actividades de reciclaje y proporciona apoyo económico a la esfera social. Además, estos materiales pueden utilizarse para mejorar y dar forma a las carreteras en beneficio de la población.

1.4.3. Justificación ambiental

El estudio propuesto se centra en la creciente contaminación ambiental mundial, sobre todo a escala local. Las actividades de reciclaje y/o reutilización son cruciales para hacer frente a este problema. Esta propuesta de investigación pretende contribuir a la reducción del óxido de calcio y las conchas marinas trituradas incorporándolos a las



composiciones del suelo de subrasante utilizado para la construcción de carreteras en la ciudad.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La variación de las propiedades de la subrasante con el empleo de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca, serán regulares, ya que ambos mejorarán las propiedades de la subrasante.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. Las propiedades físicas y mecánicas del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca, será malas y deficientes.
2. La influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables reducirá el índice de plasticidad del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.
3. La influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables aumentará el grado de compactación del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.
4. La influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables incrementará la capacidad de soporte CBR del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Variable independiente

Óxido de calcio y Conchas marinas trituradas.

Dimensiones



- Dosificación de OC en 4%, 8% y 12%
- Dosificación de CM en 4%, 6% y 8%

1.6.2. Variable dependiente

Propiedades del suelo de subrasante:

Dimensiones

- Índice de plasticidad.
- Grado de compactación.
- CBR.

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Óxido de calcio y Conchas marinas trituradas	El óxido de calcio es un residuo sólido que se produce a partir de la quema del bagazo en calderas para cogeneración en la industria azucarera. Las conchas marinas trituradas son un producto derivado de la naturaleza que se obtiene triturando o granulando conchas marinas, incluidas conchas de ostras y otros tipos de conchas. Se emplean en el sector de la construcción como sustituto de los áridos reciclados y tienen el potencial de mejorar las características físicas y químicas del subsuelo, incluida su resistencia.	Proporciones	OC+4% CM+4%	Ficha de control de calidad de laboratorio
			OC+8% CM+6%	
			OC+12% CM+8%	
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Propiedades del suelo de subrasante	Las cualidades físicas y mecánicas del suelo que constituye la base de una carretera o camino se denominan propiedades del suelo de subrasante. Estas cualidades son muy importantes para garantizar que el sistema de carreteras sea estable y resistente. Estas características se comprueban en el laboratorio mediante pruebas como las del límite de Atterberg, pruebas de compactación Proctor Modificado y pruebas CBR, entre otras, para averiguar qué tipo de suelo de subrasante es y asegurarse de que funcionará bien cuando se construyan carreteras y caminos sobre él.	Índice de plasticidad	Límite líquido Límite plástico.	Equipos y herramientas de laboratorio
			Grado de compactación	
		Capacidad de soporte		CBR

Nota: Elaboración del tesista.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según, García (2022) en su proyecto “Estabilización de suelos con cal como una alternativa viable para la construcción y rehabilitación de caminos rurales en Colombia”, este documento examina los beneficios técnicos, económicos, ambientales y sociales del uso de la cal como producto químico para la estabilización in situ de suelos naturales en vías terciarias y rurales en Colombia. Este método permite la utilización de la subrasante actual realizando un tratamiento del suelo que mejora las características físicas, químicas y mecánicas del mismo. Como resultado, se asegura una estructura vial que cumple con los requerimientos técnicos necesarios para una adecuada transitabilidad y vida útil estimada. Además, este método reduce la transferencia de tierra a la carretera, lo que proporciona ventajas adicionales. Esto garantiza que la carretera tenga las condiciones técnicas necesarias para una correcta transitabilidad y una larga vida útil estimada. Además, ofrece la ventaja de minimizar el movimiento de materiales en la zona y utilizar fuentes aluviales para la extracción de piedra. A través de la revisión de fuentes bibliográficas y el análisis de los aspectos técnicos de la información documental



disponible, así como del estudio de la aplicación de este método constructivo en diversos países, se pueden identificar los principales beneficios estructurales, económicos y ambientales de la implementación de este método en las vías terciarias de Colombia.

Además, Elizondo et al. (2010) en su proyecto "Efecto de las propiedades de calidad de la cal en la estabilización de subrasantes de alta plasticidad", las características geológicas de Costa Rica dan como resultado la prevalencia de suelos de subrasante con altos índices de flexibilidad en nuestro país. Los suelos de subrasante se utilizan como cimentación de estructuras de pavimento o en carreteras no pavimentadas (tierra y balasto) donde soportarán directamente cargas de tráfico en su condición original o cuando se combinan con materiales granulares para carreteras de balasto. Los atributos de alta plasticidad se asocian con una resistencia mecánica limitada, una mayor vulnerabilidad a la humedad y, en consecuencia, el impacto sobre la viscosidad o la capacidad de sufrir deformaciones plásticas cuando se someten a esfuerzos. Por lo tanto, la cal se sugiere como un estabilizante óptimo para materiales finos con plasticidad media o alta, práctica que no se ha empleado en Costa Rica por esta razón específica. La utilización de este producto conlleva a una serie de mejoras, entre las que se encuentran el aumento de las características de resistencia mecánica, la disminución de la vulnerabilidad a la humedad, la disminución de la flexibilidad y el aumento de la trabajabilidad, entre otros beneficios. La producción de cal en Costa Rica carece de controles de calidad estrictos y a menudo se basa en procedimientos artesanales, lo que da lugar a grandes variaciones entre productores y variedades de cal. Por ello, el presente proyecto pretendía examinar el impacto de dos grados diferentes de cal (primera y segunda calidad) sobre las características de un suelo altamente plástico que ha sido estabilizado con cal. Además, se pretendía determinar si el suelo cumplía los requisitos exigidos por la normativa vigente.

Asimismo, Gavilanes (2016) en su proyecto "Estabilización y mejoramiento de subrasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de santos pamba barrio colinas del sur", La incorporación de escoria negra o gránulos de caucho reciclado (RRCG)



como áridos en mezclas para firmes de carreteras se considera una solución eficaz para mejorar las prestaciones y el estado de carreteras con bajos volúmenes de tráfico. Este trabajo de investigación contribuye al desarrollo de carreteras sostenibles mediante la aplicación de estas soluciones óptimas. El seguimiento realizado supone un examen exhaustivo de los estudios e investigaciones existentes en relación con el tema de este proyecto. Este análisis pretende evaluar los pros y los contras que, en última instancia, deciden la viabilidad de su ejecución.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según, Hernandez y Velasquez (2023) en su proyecto "Estabilización con conchas de mejillón y cal en la subrasante de la carretera de Pías, Pataz 2022", este estudio evaluó la estabilidad de la subrasante de la carretera en Pías, mediante el empleo de cal y conchas de mejillón. La investigación realizada fue de carácter aplicado, utilizando un diseño experimental y un muestreo no probabilístico. El estudio se centró en tres fosas situadas a lo largo de una carretera de tres kilómetros. Estas zanjas se clasificaron en función del suelo arcilloso plástico de la AASHTO y del suelo arcilloso de baja plasticidad de la SUCS. El CBR de la fosa de prueba C2 se determinó variando las proporciones de cal y conchas de mejillón. Los resultados revelaron un coeficiente de soporte de California (CBR) inicial del 7,04%, que experimentó una mejora sustancial hasta el 38,00% con la aplicación de un 3% de cal y un 4% de conchas de mejillón. El ensayo Proctor Modificado arrojó una densidad seca máxima de 1700 kg/m³ y un contenido de humedad óptimo del 8%. En última instancia, se estableció que la adición de cal y conchas de mejillón mejora las características físico-mecánicas de la subrasante, lo que lleva a un aumento sustancial en el (CBR) y la transforma de una subrasante insatisfactoria a una subrasante sobresaliente.

Además, Quispe (2021) en su proyecto "Evaluación del óxido de calcio para estabilizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante del Jirón Carlos Sowersby, Distrito de Carhuamayo", el propósito del estudio fue evaluar la efectividad del



óxido de calcio en la mejora de las características físicas y mecánicas del suelo subrasante en el jirón Carlos Sowersby. La hipótesis general que se confirmó es que el óxido de calcio puede estabilizar el suelo subrasante reduciendo su índice de plasticidad, aumentando la compactación y aumentando su capacidad portante. El método de investigación empleado fue científico, es decir, un enfoque explicativo aplicado, con un diseño experimental. La población estuvo constituida por el suelo encontrado en un pozo de ensayo específico ubicado entre Jr. Tarata en la zona de Carlos Sowersby. La muestra, obtenida mediante la técnica de muestreo intencional o dirigido, fue tomada del mismo pozo de sondeo y consistió en aproximadamente 360 kg de suelo. Esta muestra se utilizó para realizar las pruebas. El principal hallazgo fue que la adición de óxido de calcio mejora las características físicas y mecánicas del suelo de subrasante del Jr. Carlos Sowersby. Esto se logra reduciendo el IP en 15.62%, aumentando la compactación al disminuir el contenido de arcilla orgánica en 22.74%, e incrementando la MDS en 3.73%. Además, la capacidad portante aumenta significativamente en un 312,90% con un contenido de CaO del 20%.

Finamente, Apac (2020) en su proyecto "Estabilización de suelos blandos con valva de conchas de abanico para la subrasante tramo 0+0.6 km Cañete 2020", este trabajo de investigación evalúa la eficacia del ACV (Vinagre de Sidra de Manzana) como estabilizador mecánico para suelos blandos en la subrasante de la provincia de Cañete. Regulaciones tales como las Especificaciones Estándar para la Construcción de Carreteras y Puentes del Departamento de Transporte de Florida y las Especificaciones Técnicas del CIP Maestro de Orange County Utilities ordenan específicamente el uso de conchas de abanico marino como estabilizador para la construcción de carreteras y puentes. Sin embargo, este requisito no se aplica en nuestro país. Utilizando el enfoque experimental cuantitativo, se crearon tres mezclas para cada combinación. Estas mezclas siguieron las especificaciones granulométricas de la norma ASTM D-1241. A continuación, se evaluaron las cualidades físicas y mecánicas del suelo. Los experimentos se realizaron siguiendo las directrices del



Programa Nacional de Toxicología (NTP). El suelo utilizado fue una arena limosa con una clasificación de suelo AASHTO A-1-b (0), que consiste en arena gruesa con o sin un aglutinante de suelo bien clasificado. La resistencia de la mezcla es de 4,36 kg/cm² cuando contiene un 55% del material. El estudio determinó que la inclusión del 15%, 35% y 55% dio lugar a una mayor capacidad de carga, con valores de CBR del 43,2%, 49,3% y 58,3%, respectivamente. Estos valores superan el requisito mínimo del 6%. Por lo tanto, el AVC cumple las normas establecidas por ASTM C977 como sustancia estabilizadora.

2.1.3. Antecedentes locales

Según, Valcarcel (2024) en su proyecto "Influencia de la cal en las propiedades físicas - mecánicas del suelo de subrasante del tramo Coasa - Saco, km 63+284 - 63+646, Provincia de Carabaya", La investigación se realizó en el suelo subrasante del tramo Coasa - Saco, ubicado entre 63+284 - 63+646 en la provincia de Carabaya. El suelo de subrasante en esta zona muestra características de plasticidad y resistencia inciertas. Por lo tanto, la adición de cal al suelo de subrasante se propuso como una solución potencial. Los objetivos fueron determinar el impacto de la cal en las limitaciones de consistencia y evaluar su influencia en el valor CBR. La metodología empleada fue un enfoque experimental cuantitativo. Para llegar a los objetivos deseados, se añadieron cal hidratada y cal viva en proporciones variables del 0%, 2%, 5% y 7%. Con esta adición se pretendía reducir el índice de plasticidad y aumentar el CBR (California Bearing Ratio) del suelo de la subrasante. Además, el suelo se compactó en moldes CBR y se dejó curar durante 7 días a temperatura ambiente. Tras este periodo de curado, los moldes se sometieron a 96 horas de saturación y posteriormente se probaron en la prensa CBR. La aplicación de cal hidratada provocó una disminución de hasta el 16% en el índice de plasticidad, mientras que la cal viva causó una disminución de hasta el 72%. La adición de cal hidratada provocó un aumento del CBR de hasta el 19,64%, mientras que la cal viva causó un aumento significativo del 378,57%. Los resultados indican que el límite plástico se reduce ligeramente mientras que el límite líquido aumenta cuando se añade cal viva. En



consecuencia, se produce una disminución significativa del índice de plasticidad. Del mismo modo, la adición de cal viva provoca un aumento considerable del CBR.

Además, Oviedo (2023) en su proyecto "Evaluación de la sub rasante empleando cal en los suelos cohesivos de la urbanización Corazón de Jesús del distrito de Socabaya - Arequipa", El objetivo de este estudio es examinar el proceso de estabilización en la subrasante de suelos calcáreos y determinar la cantidad ideal de estabilizador necesaria para garantizar una mejora significativa en la capacidad de carga de la subrasante para pavimentos asfálticos. Como zona de estudio y sitio para la recolección de muestras se eligió la urbanización Sagrado Corazón, ubicada en el departamento de Arequipa.

La cal posee varias propiedades, entre ellas su capacidad para absorber líquidos como agente estabilizador y su capacidad para mejorar los suelos rocosos. Es decir, las partículas de cal y arcilla se combinan para producir un fenómeno llamado floculación, dando como resultado la formación de dobles capas difusas. Esto, a su vez, reduce la probabilidad de obstrucción y dispersión en suelos finos, al tiempo que mejora su resistencia a la penetración. Se realizaron análisis granulométricos, pruebas de límite de resistencia, Proctor modificadas y compactación en muestras de suelo en su condición natural y con contenidos de cal del 10%, 15% y 20%. Para realizar los cálculos requeridos se realizó una clasificación de suelos utilizando las metodologías AASHTO y SUCS.

Se determinó que el contenido de cal era del 20 %, lo que resultó en un aumento del CBR (California Bearing Ratio) del 21,45 % al 30,84 % en el suelo, logrando un CBR del 100 %. Se realizó un análisis económico para determinar los costos y beneficios. El pavimento está construido sobre dos subrasantes distintas, una en su estado original y la otra mejorada con la mezcla de cal óptima.



2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelo

El suelo se refiere a la capa de material natural o artificial que se encuentra debajo de la estructura de pavimento. El es la capa del pavimento y es fundamental para la estabilidad y durabilidad de la superficie de rodadura. El suelo debe tener ciertas características y propiedades específicas, como una capacidad portante adecuada, resistencia a la compresión, capacidad de drenaje, y una textura que permita una buena adherencia con las capas de pavimento superiores. La calidad y las propiedades del suelo subyacente son críticas para el diseño y la construcción de pavimentos duraderos y seguros. (Maldonado, 2021).

el suelo se refiere a la subrasante, que es la capa de terreno natural o mejorada sobre la cual se construyen las estructuras del pavimento. La subrasante proporciona la base fundamental sobre la que descansan todas las demás capas del pavimento, como la sub-base, la base y la capa de rodadura. Es esencial que la subrasante sea adecuadamente compactada y estable para soportar las cargas transmitidas por el pavimento y evitar deformaciones.

Tabla 2

Clasificación de suelos según tamaño de partículas

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

Nota: tomado del MTC (2014)

2.2.1.1. Importancia del suelo

El suelo juega un papel fundamental en el contexto de la subrasante de una carretera debido a su importancia en varios aspectos clave que afectan directamente la estabilidad y el rendimiento de la infraestructura vial. Aquí se destacan algunos puntos importantes sobre la importancia del suelo en relación con la subrasante:

❖ **Soporte de cargas:**

El suelo natural actúa como el soporte principal sobre el cual se construye la subrasante y las capas superiores de la carretera. Su capacidad para soportar las cargas del tráfico es crucial para prevenir asentamientos y deformaciones que podrían comprometer la integridad estructural.

❖ **Capacidad de carga:**

La capacidad de carga del suelo determina la cantidad máxima de presión que puede soportar sin sufrir deformaciones excesivas o fallas. Es vital seleccionar y evaluar adecuadamente el suelo para asegurar que cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad necesarios para la subrasante.

❖ **Compactación:**

La adecuada compactación del suelo es esencial para asegurar una superficie uniforme y estable sobre la cual se construye la subrasante. La compactación adecuada mejora la resistencia del suelo y ayuda a prevenir asentamientos diferenciados que podrían comprometer la carretera.

❖ **Drenaje:**

El suelo influye en el drenaje adecuado de agua a través de la subrasante y las capas superiores de la carretera. Un suelo con buena permeabilidad permite que el agua se mueva eficientemente a través de él, reduciendo el riesgo de acumulación de agua que podría debilitar la estructura de la carretera.

❖ **Evaluación y mejora del suelo:**

Es común realizar pruebas geotécnicas para evaluar las propiedades del suelo antes de la construcción de la subrasante. Esto puede incluir pruebas de compactación,

análisis de capacidad de carga y evaluaciones de permeabilidad. En algunos casos, es posible que se requieran técnicas de mejoramiento del suelo, como la adición de estabilizadores químicos o físicos, para cumplir con los estándares de diseño y mejorar la capacidad de carga y estabilidad.

2.2.1.2. Suelos arcillosos o finos

Los suelos arcillosos, también conocidos como suelos finos, se caracterizan por tener partículas muy pequeñas, generalmente menor a 0.002 mm. Estas partículas de arcilla confieren al suelo una serie de propiedades físicas y químicas particulares que los distinguen de otros tipos de suelos, como los arenosos o los de grava. (Zapata, 2018).

Características físicas

1. **Tamaño de partículas:** Como se mencionó, el suelo arcilloso contiene partículas menores a 0.002 mm. Debido a su pequeño tamaño, estas partículas tienen una gran superficie específica, lo que afecta otras propiedades del suelo.
2. **Plasticidad:** Los suelos arcillosos son altamente plásticos, lo que significa que pueden ser moldeados cuando están húmedos y mantienen su forma al secarse. Esta propiedad se debe a la naturaleza cohesiva de las partículas de arcilla.
3. **Capacidad de retención del agua:** La gran superficie de las partículas de arcilla permite una alta capacidad de retención del agua, lo que hace que estos suelos permanezcan húmedos durante más tiempo en comparación con suelos arenosos o de grava.
4. **Comprensibilidad y asentamiento:** Son aquellos que tienden a ser más susceptibles a la comprensión bajo carga y pueden experimentar asentamientos significativos, lo cual es un factor crítico en la construcción y la ingeniería.

2.2.1.3. Suelos cohesivos

Los suelos cohesivos se caracterizan por sus partículas finas y un contenido suficiente de arcilla, lo que permite que las partículas del suelo se adhieran entre sí. Los



suelos cohesivos se pueden clasificar en arcillosos o limosos, según el tipo y la cantidad de arcilla presente. Tienen un alto índice de plasticidad, lo que significa que pueden moldearse y conservar su forma cuando se deforman. Los suelos cohesivos se encuentran a menudo en zonas con abundantes precipitaciones y en las riberas de los ríos, donde las partículas de arcilla han sido depositadas por el agua. También se encuentran comúnmente en zonas con un nivel freático alto, ya que el agua ayuda a mantener la cohesión del suelo. Los suelos cohesivos son generalmente más estables que los suelos granulares, pero pueden ser más difíciles de excavar y compactar. También son más susceptibles a contraerse e hincharse con la humedad, lo que puede causar problemas a las estructuras construidas sobre ellos. (Pernia, 2014).

Estos suelos se clasifican en los siguientes tipos:

1. Limos.

Los suelos limosos son un tipo de suelo que se caracteriza por su textura fina y suave, compuesta principalmente de partículas de tamaño intermedio entre la arena y la arcilla. Aquí hay algunas características y propiedades importantes de los suelos limosos:

- **Textura:** Las partículas de suelo limoso tienen un tamaño de aproximadamente 0.002 mm a 0.05 mm. La textura es suave al tacto y cuando está seco, el limo puede sentirse casi como harina o polvo.
- **Retención de agua y permeabilidad:** El suelo limoso tiene una buena retención de agua debido a su estructura porosa, pero también permite una buena infiltración de agua, lo que lo hace menos propenso a la saturación y mejor drenaje que los suelos arcillosos.
- **Fertilidad:** Generalmente, los suelos limosos son más fértiles que los suelos arenosos debido a su capacidad para retener nutrientes esenciales para las plantas. Sin embargo, no son tan ricos en nutrientes como los suelos arcillosos.



- **Manejo:** Los suelos limosos son más fáciles de trabajar que los arcillosos, especialmente cuando están húmedos, debido a que no son tan pegajosos ni se compactan fácilmente como los suelos arcillosos.
- **Uso agrícola:** Debido a su buena estructura y fertilidad, los suelos limosos son adecuados para una variedad de prácticas agrícolas. Promueven el crecimiento saludable de las plantas debido a su equilibrio entre la retención de agua y la aireación.
- **Erosión:** Aunque los suelos limosos son menos susceptibles a la erosión que los suelos arenosos, pueden ser erodidos si no están protegidos con una cobertura vegetal, especialmente en áreas de fuertes lluvias.

2. Arcillas.

Los suelos arcillosos son un tipo de suelo compuesto por partículas muy pequeñas de arcilla:

- **Textura:** Las partículas de arcilla son extremadamente finas, con un diámetro menor a 0.002 mm. Debido a su pequeño tamaño, los suelos arcillosos tienden a tener una textura muy suave y pegajosa cuando están húmedos, y pueden volverse extremadamente duros y agrietados cuando están secos.
- **Composición mineral:** Los suelos arcillosos contienen una alta proporción de minerales de arcilla, como la montmorillonita, la caolinita o la illita, que les confieren sus características físicas únicas.
- **Capacidad de retención de agua:** Los suelos arcillosos tienen una gran capacidad para retener agua debido a su diminuto tamaño de partícula y a su extensa superficie específica. Esto indica que tienen capacidad para almacenar cantidades significativas de agua, lo que puede ser ventajoso para las plantas en épocas de sequía, pero también puede provocar problemas de drenaje y saturación de agua.



- **Plasticidad:** Los suelos arcillosos son altamente plásticos, lo que significa que pueden ser moldeados y deformados fácilmente cuando están húmedos. Esta propiedad es útil en aplicaciones de construcción, pero también puede hacer que el suelo sea difícil de manejar. (Pernia, 2014).
- **Compactación:** Debido a su estructura fina y compacta, los suelos arcillosos son propensos a la compactación, especialmente cuando están húmedos. La compactación puede reducir la porosidad del suelo, dificultando el paso del aire y el agua.

2.2.1.4. Plasticidad de los suelos

Es una propiedad que resulta de la presencia de minerales arcillosos. Es un factor importante que los ingenieros deben considerar al interpretar las características del suelo. Según (Ccansaya, 2014) la plasticidad es la capacidad del suelo para mantener una determinada forma cuando se somete a fuerzas externas sin romperse, y está relacionada con la cohesión y adhesión del suelo. Se mide por los límites de Atterberg, que son el límite líquido, el límite plástico y el límite de contracción.

- ❖ **El límite líquido** es el contenido de agua al cual el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico, y está determinado por la cantidad de agua requerida para que una muestra de suelo fluya cuando se somete a un impacto estandarizado.
- ❖ **El límite plástico** se refiere al nivel de humedad en el que el suelo pasa de una forma plástica a una semisólida. Se mide por la cantidad de agua necesaria para que una muestra de suelo se desintegre al darle forma de hilo.
- ❖ **El límite de contracción** es el contenido de agua al cual el suelo deja de encogerse cuando se seca, y está determinado por la cantidad de agua requerida para que una muestra de suelo mantenga su volumen cuando se seca.



- ❖ **El índice de plasticidad** se determina restando el valor del límite plástico del valor del límite líquido. Funciona como un indicador del grado de contenido de agua en el que el suelo demuestra características plásticas. El índice de fluidez es una medida cuantitativa de la capacidad del suelo para cambiar de forma o deformarse, que se determina dividiendo la diferencia entre el contenido de agua y el límite plástico por el índice de plasticidad. La plasticidad del suelo es crucial en aplicaciones de ingeniería, carreteras y edificios. Influye directamente en la respuesta del suelo a las fuerzas externas y en la estabilidad general de las estructuras erigidas sobre él.

2.2.1.5. Características de los suelos

Los suelos son materiales naturales que cubren la superficie terrestre y se forman a partir de la acción de diversos procesos geológicos, biológicos y climáticos a lo largo del tiempo. Tienen una composición y características que varían según su origen, historia geológica y condiciones ambientales locales. Aquí te presento algunas de las características más importantes de los suelos:

- **Composición mineral:**

Los suelos están compuestos por minerales derivados de rocas madre descompuestas. Los minerales más comunes incluyen cuarzo, feldespato, mica y arcillas.

- **Textura:**

La textura del suelo se refiere al tamaño relativo de las partículas minerales que lo componen. Los suelos se clasifican según su textura en arenosos, limosos, arcillosos o una combinación de estos.

- **Estructura:**

La estructura del suelo se refiere a cómo están dispuestas y unidas las partículas minerales entre sí. Puede ser granular, en bloques, prismática, entre otras formas, influenciando la porosidad y permeabilidad del suelo.



- **Porosidad:**

La porosidad del suelo se refiere a la cuantificación de los espacios vacíos, o poros, que existen entre las partículas del suelo. Este elemento rige la capacidad del suelo para retener agua, su capacidad de drenaje, la circulación del aire y la penetración de las raíces.

- **Color:**

El color del suelo puede proporcionar información sobre su composición mineral y condiciones de drenaje. Puede variar desde rojizo debido a la presencia de óxidos de hierro hasta grisáceo o amarillento.

- **Capacidad de retención de agua:**

La capacidad de retención de agua del suelo se refiere a la cantidad máxima de agua que puede ser retenida en el suelo tras el riego o la lluvia. El resultado depende de la textura, la estructura y el contenido de materia orgánica.

- **Materia orgánica:**

La materia orgánica del suelo comprende sustancias en descomposición como hojas, raíces y residuos vegetales. incrementa la fertilidad del suelo, su estructura y su capacidad de retención de agua.

- **pH del suelo:**

El nivel de pH del suelo es un indicador de su nivel de acidez o alcalinidad. Influye en la accesibilidad de los nutrientes para las plantas y en el funcionamiento ecológico del suelo.

- **Capacidad de carga:**

La capacidad portante del suelo en ingeniería civil se refiere a su capacidad para soportar cargas sin experimentar una deformación excesiva. El diseño de cimentaciones y estructuras es de suma importancia.

Estas características varían significativamente entre diferentes tipos de suelos y pueden ser evaluadas mediante pruebas de laboratorio y técnicas de muestreo geotécnico.

La comprensión de estas características es fundamental para la agricultura, la ingeniería civil, la geología y la conservación del medio ambiente.

2.2.1.6. Clasificación de los suelos

Es un proceso fundamental en la geología, y la agricultura. Los suelos se pueden clasificar según diversas características, tales como su composición, estructura, textura y origen. (Beltrán & Copado, 2011).

a) Sistema ASSHTO M-145.

Los constructores de pavimentos y carreteras dependen en gran medida del sistema de clasificación de suelos AASHTO M-145. Basándose en sus propiedades físicas y su uso previsto como material de subrasante de carreteras, los suelos se clasifican mediante esta técnica.

El sistema AASHTO clasifica los suelos en siete grupos principales, designados del A-1 al A-7, cada uno con subgrupos adicionales según sus propiedades. La clasificación se basa en dos principales propiedades:

- ✚ El tamaño de las partículas se refiere a las dimensiones de las partículas individuales.
- ✚ Los índices de plasticidad (límites de Atterberg).

Grupos principales:

1. Grupo A-1 (Suelos granulares):

- **A-1-a:** Grava bien graduada con un contenido de fino (partículas que pasan el tamiz N° 200) menor del 25%.
- **A-1-b:** Arenas bien graduadas con un contenido de fino menor del 25%.

2. Grupo A-2 (Suelos granulares):

- **Arena:** fracción que pasa el tamiz N° 10 (2mm) y es retenido por el tamiz N° 200 (0.075mm).



3. Grupo A-2 (Suelos granulares):

- **A-3:** Arenas limpias con poco o ningún fino (contenido de fino menor del 10%).

4. Grupo A-2 (Suelos granulares):

- **A-4:** Suelos con un contenido de fino mayor del 35%, que tienen un índice de plasticidad bajo ($LL < 40$ y $LP < 10$).

5. Grupo A-2 (Suelos granulares):

- **A-5:** Similar a A-4 pero con un índice de plasticidad más alto (Límite Líquido > 40).

6. Grupo A-2 (Suelos granulares):

- **A-6:** Suelos con un contenido de fino mayor del 35%, que tienen un índice de plasticidad intermedio ($LL < 40$ y $LP > 10$).

7. Grupo A-2 (Suelos granulares):

- **A-7-5:** Suelos con un contenido de fino mayor del 35%, que tienen un índice de plasticidad alto ($LL > 40$ y $LP < 20$).
- **A-7-6:** Suelos con un contenido de fino mayor del 35%, que tienen un índice de plasticidad muy alto ($LL > 40$ y $LP > 20$). (Beltrán & Copado, 2011).

b) Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Es una herramienta popular en ingeniería geotécnica para las características granulométricas y de plasticidad; otro nombre que recibe es (USCS). La construcción de cimientos, carreteras y presas son sólo algunas de las muchas aplicaciones de ingeniería que se benefician de la capacidad de este sistema para predecir el comportamiento del suelo. A continuación, encontrará una explicación exhaustiva del SUCS.

Clasificación de los suelos según el SUCS.

- Suelos Granulares (arena y grava, con menos del 50% de finos).
- Suelos Finos (limo y arcilla, con más del 50% de finos).

1. Suelos granulares:

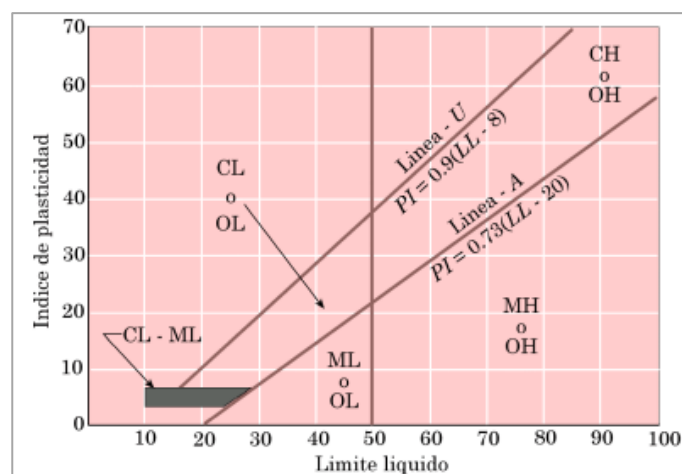
- **GW (Grava Bien Gradada):** Grava con buena gradación y pocos finos.
- **GP (Grava Mal Gradada):** Grava con mala gradación y pocos finos.
- **GM (Grava Limosa):** Grava con una cantidad significativa de limo.
- **GC (Grava Arcillosa):** Grava con una cantidad significativa de arcilla.
- **SW (Arena Bien Gradada):** Arena con buena gradación y pocos finos.
- **SP (Arena Mal Gradada):** Arena con mala gradación y pocos finos.
- **SM (Arena Limosa):** Arena con una cantidad significativa de limo.
- **SC (Arena Arcillosa):** Arena con una cantidad significativa de arcilla.

2. Suelos finos:

- **ML (Limo de baja plasticidad):** Limo inorgánico con baja plasticidad.
- **CL (Arcilla de baja plasticidad):** Arcilla inorgánica con baja plasticidad.
- **MH (Limo de alta plasticidad):** Limo inorgánico con alta plasticidad.
- **CH (Arcilla de alta plasticidad):** Arcilla inorgánica con alta plasticidad.
- **OL (Limo orgánico):** Limo orgánico con baja plasticidad.
- **OH (Arcilla orgánica):** Arcilla orgánica con alta plasticidad.

Figura 1

Carta de plasticidad



Nota. Abaco de Casagrande.



2.2.1.7. Compactación de los suelos

La compactación de suelos es el proceso de aumentar la densidad de las partículas del suelo mediante la aplicación de presión, lo que resulta en una disminución de la porosidad. Este proceso puede tener varios efectos negativos en las propiedades del suelo, incluida una menor infiltración de agua, una menor aireación y un crecimiento restringido de las raíces. La compactación puede ocurrir naturalmente, como por el peso del suelo suprayacente o la presión de los glaciares, o puede ser causada por actividades humanas, como el uso de maquinaria pesada durante la construcción o prácticas agrícolas. (Barros, 2014).

La compactación del suelo también se puede medir utilizando un penetrómetro, que mide la resistencia del suelo a la penetración de una sonda en forma de cono. La resistencia a la penetración está relacionada con la densidad del suelo y puede usarse para estimar la compactación del suelo. También se pueden utilizar otros métodos, como el densímetro nuclear y la prueba de conductividad eléctrica, para medir la compactación del suelo.

2.2.2. Carreteras

Las carreteras son infraestructuras de transporte terrestre diseñadas y construidas para permitir el tránsito de vehículos, así como peatones, de manera segura y eficiente. Estas vías pueden variar en términos de diseño, materiales de construcción y función, pero todas tienen como objetivo principal facilitar el movimiento de personas y mercancías entre diferentes puntos geográficos.

Una carretera es una vía de transporte terrestre construida en gran parte con el fin de facilitar el movimiento de vehículos motorizados, uniendo centros urbanos, pueblos, regiones rurales y diversos destinos. Las carreteras pueden ser pavimentadas o no pavimentadas y suelen incluir una serie de elementos diseñados para garantizar la seguridad y comodidad del transporte.

Asimismo, Una carretera es una vía de comunicación terrestre acondicionada fundamentalmente para el tránsito de vehículos automóviles, que une diferentes lugares entre sí.

Las principales características de una carretera son:

- **Infraestructura vial:** Incluye la plataforma, la calzada con carriles, los separadores centrales, las bermas, las cunetas, los taludes, los puentes, los túneles, etc.
- **Clasificación:** Pueden clasificarse según su función (autopistas, carreteras nacionales, regionales, etc.), capacidad, tipo de terreno (plano, ondulado, montañoso), número de calzadas (una o dos), tipo de superficie (pavimentada o no pavimentada), propiedad y administración (nacionales, regionales, municipales, privadas), etc.
- **Seguridad vial:** Deben cumplir con normas y estándares de diseño geométrico para garantizar la seguridad de los usuarios, incluyendo señalización, iluminación, barreras de contención, etc.
- **Conectividad:** Permiten la comunicación y el transporte entre diferentes localidades, regiones o países, facilitando el desarrollo económico y social.
- **Mantenimiento y gestión:** Requieren actividades periódicas de mantenimiento para preservar su estado y funcionalidad, siendo responsabilidad de las autoridades competentes.

En resumen, las carreteras son infraestructuras fundamentales para la movilidad y el desarrollo de un país, cuyo diseño y gestión debe considerar aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales para garantizar su adecuado funcionamiento.

2.2.2.1. Características principales de las carreteras

Las características principales de las carreteras abarcan diversos aspectos que aseguran su funcionalidad, seguridad y durabilidad. Estas características se relacionan con



su diseño, construcción, mantenimiento y operación. A continuación, se detallan las características más importantes de las carreteras:

1. Superficie de rodadura:

La superficie sobre la cual los vehículos circulan puede ser de diferentes materiales como asfalto, hormigón, grava o tierra compactada. Esta superficie debe ser resistente para soportar el peso y la fricción de los vehículos.

2. Diseño geométrico:

Incluye la planificación de alineaciones horizontales y verticales, curvas, pendientes, anchos de carril, así como la distribución de elementos como calzadas, arcenes, medianas y sistemas de drenaje. El diseño geométrico busca optimizar la seguridad y el confort del tránsito vehicular.

3. Seguridad vial:

Las carreteras deben estar equipadas con señalización adecuada, marcas viales, barreras de protección y sistemas de iluminación. Esto ayuda a guiar a los conductores, minimizar accidentes y facilitar la circulación segura, especialmente en intersecciones y curvas peligrosas.

4. Capacidad y clasificación:

Las carreteras se clasifican según su capacidad para manejar el volumen de tráfico y la velocidad permitida. Incluyen desde caminos rurales y locales hasta autopistas de alta capacidad y velocidad.

5. Mantenimiento y durabilidad:

El mantenimiento regular es crucial para preservar la funcionalidad y seguridad de las carreteras. Esto incluye reparaciones de pavimento, limpieza de cunetas, control de vegetación, entre otros. Una buena durabilidad asegura una vida útil prolongada y reduce costos de operación.

6. Eficiencia energética:

Diseño y operación eficientes que minimizan el consumo de combustible y emisiones de gases de efecto invernadero.

7. Accesibilidad y conectividad:

Las carreteras deben proporcionar acceso adecuado a áreas residenciales, comerciales e industriales, facilitando el transporte de personas y bienes. Mejoran la conectividad regional y nacional.

8. Sostenibilidad ambiental:

Se enfoca en minimizar el impacto ambiental durante la construcción y operación de las carreteras, incluyendo manejo de aguas pluviales, uso de materiales reciclados y técnicas de construcción verde.

9. Resistencia a condiciones climáticas:

Deben ser diseñadas para resistir condiciones climáticas adversas como lluvias intensas, nieve, hielo y altas temperaturas, garantizando la operación segura durante todo el año.

Estas características son fundamentales para asegurar que las carreteras cumplan con su propósito de proporcionar una infraestructura segura y eficiente para el transporte terrestre. La planificación cuidadosa y el diseño adecuado son esenciales para optimizar su rendimiento y beneficios sociales, económicos y ambientales.

2.2.2.2. Tipos de carreteras

Existen varios tipos de carreteras, cada una diseñada para satisfacer necesidades específicas de transporte y facilitar diferentes tipos de movilidad. Aquí se presentan los tipos principales de carreteras, categorizados según su función y capacidad:

1. Autopista (Freeways o highways).

Descripción: Carreteras de alta capacidad y velocidad diseñadas para el tráfico rápido y continuo.

Características:

- Acceso controlado (entradas y salidas reguladas).
- Separación física entre carriles opuestos.



- Generalmente tienen al menos dos carriles por dirección.
- Ausencia de cruces a nivel.
- Diseñadas para viajes de largo recorrido y alto volumen de tráfico.

2. Carreteras principales o arteriales.

Descripción: Conectan grandes áreas urbanas y sirven como rutas principales de transporte.

Características:

- Pueden tener acceso limitado o controlado en áreas urbanas.
- Proporcionan conexiones entre autopistas y otras carreteras de alta capacidad.
- Generalmente más anchas y diseñadas para manejar tráfico pesado y vehículos de largo recorrido.

3. Carreteras secundarias o colectoras.

Descripción: Conectan áreas residenciales y rurales con las carreteras principales.

Características:

- Recogen el tráfico de áreas locales y lo dirigen hacia carreteras principales.
- Proporcionan acceso a zonas comerciales, industriales y áreas residenciales.
- Manejan un volumen de tráfico moderado y velocidades más bajas que las arteriales.

4. Carreteras locales.

Descripción: Proporcionan acceso directo a propiedades residenciales, comerciales y agrícolas.

Características:

- Diseñadas para tráfico local y acceso a propiedades individuales.
- Generalmente de un solo carril por dirección.
- Velocidades más bajas y menos tráfico en comparación con carreteras principales y secundarias.

5. Carreteras rurales o caminos.



Descripción: Carreteras no pavimentadas o con pavimentación mínima en áreas rurales.

Características:

- Conectan áreas remotas y comunidades rurales.
- Generalmente de bajo volumen de tráfico.
- Pueden ser más estrechas y menos desarrolladas que las carreteras urbanas y suburbanas.

6. Vías urbanas y calles.

Descripción: Carreteras dentro de áreas urbanas y suburbanas.

Características:

- Diseñadas para manejar tráfico local y proporcionar acceso a propiedades urbanas.
- Generalmente tienen intersecciones a nivel y semáforos.
- Anchos de carril más estrechos que las carreteras principales y secundarias.

7. Carretera de montaña y costeras.

Descripción: Carreteras que atraviesan terrenos montañas o costeros.

Características:

- Diseñadas para manejar curvas pronunciadas y cambios de elevación.
- Proporcionan acceso escénico y recreativo.
- Pueden requerir técnicas especiales de construcción para manejar condiciones geológicas difíciles.

8. Carreteras especiales (Ej. Peajes, túneles).

Descripción: Carreteras con características especiales para propósitos específicos.

Características:

- Pueden incluir carreteras de peaje con acceso restringido y pago por uso.
- Túneles y puentes que atraviesan cuerpos de agua o terrenos montañosos.



- Diseñadas para resolver necesidades específicas de infraestructura y transporte.

Estos tipos de carreteras reflejan la diversidad de necesidades de transporte y condiciones geográficas que existen en diferentes regiones y áreas urbanas y rurales. Cada tipo de carretera tiene sus propios requisitos de diseño, mantenimiento y gestión para garantizar una operación segura y eficiente.

2.2.2.3. Funciones de las carreteras

Las carreteras desempeñan diversas funciones fundamentales en el contexto del transporte terrestre y la conectividad regional y nacional. Estas funciones abarcan desde facilitar el movimiento de personas y bienes hasta contribuir al desarrollo económico y mejorar la calidad de vida de las comunidades. A continuación, se detallan las principales funciones de las carreteras:

a) Transporte de personas y bienes.

Descripción: Facilitan el movimiento eficiente y seguro de personas, mercancías y servicios entre diferentes áreas geográficas.

Beneficios:

- Conectan hogares con lugares de trabajo, educación y servicios esenciales.
- Permiten la distribución de productos desde los centros de producción hasta los mercados y consumidores finales.
- Aseguran el acceso a servicios de emergencia y salud.

b) Desarrollo económico.

Descripción: Promueven el desarrollo económico al mejorar el acceso a mercados, trabajos y servicios.

Beneficios:

- Facilitan el comercio local, regional e internacional.
- Aumentan las oportunidades de empleo al mejorar la accesibilidad a diversas áreas.

- Atraen inversiones al proporcionar infraestructura adecuada para negocios y empresas.

c) Conectividad y acceso.

Descripción: Mejoran la conectividad entre comunidades, facilitando el acceso a educación, salud y otros servicios esenciales.

Beneficios:

- Reducen el aislamiento de comunidades rurales y remotas.
- Fomentan la cohesión social al facilitar el contacto entre diferentes áreas.
- Aseguran que las personas puedan acceder a servicios y oportunidades en otras localidades.

d) Movilidad y reducción de tiempos de viaje.

Descripción: Reducen los tiempos de viaje y aumentan la movilidad, contribuyendo a una mayor productividad y calidad de vida.

Beneficios:

- Mejoran la eficiencia del transporte, reduciendo costos de operación y tiempos de desplazamiento.
- Facilitan desplazamientos diarios más rápidos y cómodos.
- Aumentan la flexibilidad y conveniencia en la planificación de viajes.

e) Seguridad vial.

Descripción: Proporcionan infraestructura diseñada para minimizar accidentes y mejorar la seguridad.

Beneficios:

- Reducen la incidencia de accidentes mediante diseños adecuados y medidas de control del tráfico.
- Proporcionan rutas seguras para el tránsito peatonal y de ciclistas.
- Mejoran la respuesta a emergencias mediante rutas de acceso rápido.

f) Interconexión de redes de transporte.



Descripción: Integran diferentes modos de transporte, como ferrocarriles, aeropuertos y puertos marítimos.

Beneficios:

- Facilitan la transferencia eficiente de carga y pasajeros entre diferentes medios de transporte.
- Mejoran la coordinación logística en la cadena de suministro.
- Fomentan un sistema de transporte multimodal más eficiente y cohesionado.

g) Desarrollo territorial y urbanístico.

Descripción: Influencian el desarrollo urbano y rural al determinar patrones de crecimiento y uso del suelo.

Beneficios:

- Orientan el crecimiento y expansión de áreas urbanas y suburbanas.
- Facilitan la planificación y desarrollo de infraestructuras y servicios públicos.
- Contribuyen a la valorización de terrenos y propiedades adyacentes.

h) Acceso a zonas recreativas y turísticas.

Descripción: Mejoran el acceso a áreas recreativas y turísticas, promoviendo el turismo y actividades de ocio.

Beneficios:

- Fomentan el turismo local e internacional.
- Proporcionan acceso a parques nacionales, sitios históricos y destinos de ocio.
- Estimulan la economía local mediante el aumento del flujo de turistas.

i) Resiliencia y respuesta a desastres.

Descripción: Proporcionan rutas críticas para la evacuación y respuesta en situaciones de emergencia y desastres naturales.

Beneficios:

- Aseguran rutas de evacuación rápidas y seguras.
- Facilitan el transporte de equipos y suministros de emergencia.
- Apoyan la recuperación y reconstrucción post-desastre.

j) **Sostenibilidad ambiental.**

Descripción: Contribuyen a la sostenibilidad mediante diseños y prácticas de construcción que minimizan el impacto ambiental.

Beneficios:

- Promueven el uso de materiales reciclados y técnicas de construcción sostenible.
- Reducen la contaminación y el impacto ambiental mediante mejores prácticas de gestión de carreteras.
- Apoyan la integración de infraestructuras verdes y corredores ecológicos.

2.2.2.4. Principales funciones de la subrasante en una carretera

La subrasante, situada bajo la capa base y la capa de rodadura, es un componente crucial en la construcción de carreteras. La estabilidad y longevidad de la carretera dependen de su correcto funcionamiento. A continuación, repasaremos las principales funciones que desempeña la subrasante en una carretera:

❖ **Soporte de la estructura:**

La subrasante es la capa inferior que soporta directamente la estructura del pavimento.

Debe tener la capacidad de soportar las cargas y esfuerzos transmitidos por las capas superiores del pavimento.

❖ **Estabilidad y resistencia:**

La subrasante debe tener las propiedades físicas e ingenieriles adecuadas para brindar estabilidad y resistencia a la estructura.

❖ **Drenaje y control de humedad:**

La subrasante debe permitir un adecuado drenaje del agua para evitar problemas de humedad y estabilidad.

Una buena permeabilidad y capacidad de drenaje son esenciales.

❖ **Uniformidad y homogeneidad:**

La subrasante debe ser lo más uniforme y homogénea posible para evitar asentamientos diferenciales.

Esto contribuye a la durabilidad y desempeño a largo plazo del pavimento.

❖ **Resistencia a factores climáticos:**

La subrasante debe poseer la capacidad de soportar los impactos perjudiciales de elementos climáticos como heladas, inundaciones y otros problemas relacionados.

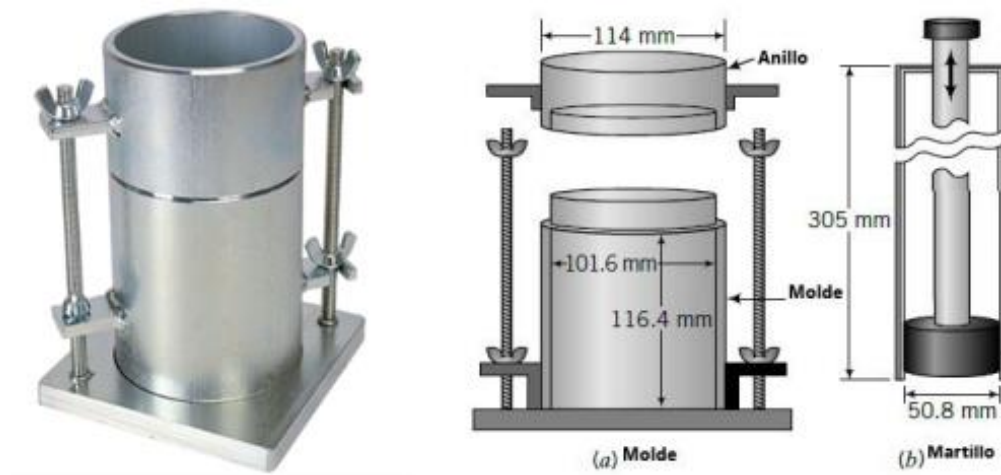
En resumen, la subrasante cumple un papel fundamental al servir como base y soporte de la estructura del pavimento, brindando las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas necesarias para garantizar la durabilidad y el buen desempeño de la carretera.

2.2.3. Ensayos Proctor

La teoría creada por Proctor en 1933 fue posteriormente estandarizada por numerosas normas para facilitar su aplicación práctica. En particular, las normas americanas ASTM D-698 y ASTM D-1557 fueron establecidas para los ensayos Proctor estándar y Proctor modificado, respectivamente. Las normas colombianas utilizan la norma INV E-141 para el Proctor Estándar y la norma INV E-142 para el Proctor Modificado. (Harloff, 2020).

2.2.3.1. Proctor estándar

Esta prueba consiste en compactar una muestra de suelo mezclándola con cantidades variables de tierra y compactándola a continuación en 3 capas iguales utilizando un martillo de 24,4 N. La compactación se realiza en un molde de 101,6 mm de diámetro y 943,3 cm³ de volumen, tal como se representa en la siguiente figura. La técnica mencionada debe repetirse hasta que pueda establecerse una curva que correlacione varios niveles de humedad con sus correspondientes pesos unitarios secos, permitiendo así la identificación del OCH y el peso unitario seco máximo.

Figura 2*Proctor estándar*

Nota. Moldes para el Proctor estándar.

2.2.3.2. Proctor modificado

Se emplea para determinar la correlación óptima entre la densidad y el contenido de humedad de un suelo con fines de compactación. Esta prueba es una iteración mejorada de la prueba Proctor estándar y se emplea para suelos que requieren una mayor compactación, en particular los utilizados en la fabricación de carreteras, aeropuertos y otras construcciones que deben soportar cargas sustanciales.

La principal distinción de esta variante del ensayo Proctor es la utilización de un martillo más sustancial, con un peso de 44,5 N. Además, la muestra de suelo se compacta densamente en 5 capas, con 25 golpes administrados en cada capa. A medida que se intensifica el esfuerzo de compactación, también aumenta el peso unitario máximo por sexo, mientras que al minimizar la cantidad de huecos disminuye el OCH. (Harloff, 2020)

La imagen muestra una clara distinción entre los dos martillos empleados. El martillo Proctor convencional se sitúa a la izquierda, mientras que el martillo Proctor modificado se sitúa a la derecha.

Figura 3*Proctor modificado*

Nota. Molde y martillo para el Proctor modificado, tomado de Geotecnia.

A pesar de su uso generalizado, las pruebas Proctor están sujetas a ciertos límites y desafíos:

- Los suelos con una granulometría superior a 19 mm, que representan el 30% del total, no tienen un criterio definido para determinar las condiciones de compactación.
- La degradación de las partículas se refiere a la descomposición del material granular cuando se comprime. Esto puede ser problemático, ya que provoca un aumento del peso unitario máximo en circunstancias de laboratorio, lo que puede no reflejar con exactitud las situaciones del mundo real. Esto dificulta la capacidad de regular el nivel de compactación, ya que el suelo lucha por alcanzar su peso unitario seco máximo.
- La gradación discontinua se refiere a la presencia de numerosas partículas grandes y escasez de partículas pequeñas en los suelos. Esto supone un reto, ya que conduce a un mayor volumen vacío, lo que se traduce en una disminución del peso unitario seco máximo. Cuando el espacio vacío se llene de agua, la capacidad de



la estructura para soportar peso disminuirá, ya que la presión sobre la estructura se reducirá debido al aumento de la presión dentro de los poros.

2.2.3.3. Valor relativo de soporte – ensayo de C.B.R

El ensayo CBR es una técnica empleada para determinar la capacidad del suelo soporta la penetración cuando se somete a una fuerza normalizada. Esta herramienta se utiliza para evaluar la durabilidad de subrasantes, subbases y bases en la construcción de carreteras. El ensayo CBR consiste en comprimir una muestra de suelo en un molde y, a continuación, ejercer una fuerza normalizada mediante un émbolo. La carga se intensifica gradualmente hasta que el suelo sufre una deformación y se documenta la medición de la resistencia a la penetración. El valor CBR se determina dividiendo la resistencia a la penetración del suelo por la resistencia a la penetración de un material de referencia, como piedra triturada o arena tratada con cemento. El ensayo CBR se realiza siguiendo las directrices establecidas por ASTM D1883. El valor CBR se utiliza para calcular el espesor necesario de las capas de pavimento para soportar una carga específica y es un aspecto crucial en el diseño de sistemas de pavimento flexible. El ensayo CBR se utiliza para evaluar la eficacia de las técnicas de estabilización del suelo, como la incorporación de cal o cemento, así como para evaluar el rendimiento de los materiales reciclados en la construcción de carreteras. (Moreira, 2020)

El ensayo de CBR de acuerdo a la norma ASTM D1883 se realiza de la siguiente manera:

1. **Preparación de la muestra:** Se recoge una muestra de suelo y se trata de acuerdo con las especificaciones descritas en ASTM D1883.
2. **Compactación de la muestra:** La muestra de suelo se coloca en un molde metálico de 6 pulgadas de diámetro y se compacta utilizando un martillo grande siguiendo el método Proctor.

3. **Penetración del pistón:** Se emplea un pistón metálico con una superficie de 0,5 pulgadas cuadradas para perforar la muestra de suelo a una velocidad constante de 1,27 mm/min.
4. **Registro de la penetración:** Se mide la carga necesaria para penetrar en la tierra 0,25 cm (0,1 pulgadas) y 0,5 cm (0,2 pulgadas).
5. **Cálculo del CBR:** El CBR se determina comparando la carga necesaria para perforar el suelo con la carga necesaria para penetrar una piedra triturada estándar bien graduada. Este valor se indica en porcentaje.
6. **Reporte de resultados:** Se reporta el valor de CBR obtenido a 0.1 pulgadas de penetración, a menos que este sea mayor que el valor obtenido a 0.2 pulgadas, en cuyo caso se debe repetir el ensayo.

Figura 4

Ensayo de CBR



Nota. Ensayo CBR in situ, tomado de Construmatica.

El ensayo C.B.R. cuantifica la resistencia al cizallamiento, o tensión de cizallamiento, de un suelo en condiciones específicas de humedad y densidad. La A.S.T.M. denomina a este ensayo "Bearing Ratio" y está normalizado como A.S.T.M. D1883-73 con la designación 17. Este ensayo puede realizarse en un laboratorio controlado o en un entorno natural, aunque este último no se utiliza habitualmente. (Moreira, 2020).

La ecuación puede expresarse como:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100$$

Con el resultado del CBR podemos clasificar la subrasante, base o subbase:

Tabla 3

Clasificación de la subrasante

CBR	Clasificación
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Subbase buena
50 – 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

Nota. Clasificación de la subrasante de acuerdo al valor de CBR.

2.2.4. Estabilización de suelos

Es el proceso de modificar las características físicas, químicas o biológicas de un suelo para mejorar su comportamiento y resistencia. Esto se logra mediante la adición de productos estabilizadores de suelos que mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas de la superficie donde se construirá un edificio, carretera, vivienda, etc. La estabilización de suelos es importante para reducir el riesgo de erosión, graduales,



hundimientos o asentamientos, y es una práctica beneficiosa tanto para el medio ambiente como para los proyectos de construcción.

La cal es una sustancia muy utilizada y eficaz para estabilizar el suelo. Cuando se aplica cal al suelo, se altera la distribución de cargas en la superficie de las partículas arcillosas del suelo, lo que provoca un intercambio de iones entre el sodio (Na) del suelo y el calcio (Ca) de la cal. Esta técnica aumenta la resistencia del suelo al tiempo que disminuye su capacidad de retención de agua.

Antes de proceder a la estabilización del suelo mediante el uso de cal, es necesario realizar un examen exhaustivo de las propiedades y la uniformidad del suelo, así como evaluaciones de laboratorio para determinar la cantidad óptima de cal necesaria. Calcinor proporciona una solución integral para la estabilización de suelos, que incluye la orientación de expertos en el proceso de estabilización de suelos.

Otros métodos de estabilización de suelos incluyen la adición de cemento, la compactación dinámica y la estabilización con geopolímeros. La estabilización con geopolímeros es una técnica de última generación que mejora la resistencia y durabilidad del suelo, y reduce su permeabilidad y compresibilidad. (Linares, 2019).

La estabilización del suelo es un método utilizado para disminuir la permeabilidad y la compresibilidad del suelo en estructuras de tierra como forma de solucionar cualquier problema. La estabilidad del suelo puede lograrse mediante la incorporación de agentes estabilizadores del suelo como la cal, el cemento, la compactación dinámica o la estabilización con geopolímeros. La estabilización del suelo es una técnica ventajosa tanto para el medio ambiente como para los proyectos de construcción, ya que mitiga la probabilidad de erosión, hundimiento gradual o asentamiento, y mejora la resistencia, durabilidad y estabilidad del suelo.

2.2.4.1. Estabilización de suelos arcillosos

La estabilización de suelos arcillosos es un proceso que tiene como objetivo modificar las características indeseables de estos suelos para el uso previsto. Este proceso

es esencial cuando se construyen estructuras sobre suelos arcillosos, ya que estos suelos pueden cambiar su volumen al absorber o liberar agua, generando problemas como expansión o contracción.

Existen diferentes métodos para estabilizar suelos arcillosos, como la adición de estabilizadores químicos, el uso de materiales geosintéticos y la aplicación de calor o procesos mecánicos. (Linares, 2019).

A continuación, se describen varios métodos y técnicas utilizados para estabilizar suelos arcillosos:

a) Estabilización Mecánica:

- Compactación del suelo arcilloso para mejorar su densidad y resistencia.
- Mezclado y homogeneización del suelo para reducir la plasticidad.

b) Estabilización Química:

- Adición de cal, cemento o productos químicos para modificar las propiedades del suelo arcilloso.
- La cal y el cemento pueden reducir la plasticidad y aumentar la resistencia.

c) Estabilización con Geosintéticos:

- Uso de geotextiles, geomallas o geocompuestos para reforzar y contener el suelo arcilloso.
- Mejora la capacidad de soporte y reduce la deformación.

d) Drenaje y Control de Humedad:

- Implementación de sistemas de drenaje para evacuar el exceso de agua del suelo arcilloso.
- Mantener un adecuado contenido de humedad para evitar problemas de expansión y contracción.

e) Reemplazo Parcial o Total:

- Remoción y reemplazo del suelo arcilloso por materiales granulares más adecuados.

La elección de la técnica más apropiada dependerá de las características específicas del suelo arcilloso, las condiciones del proyecto y los requisitos de diseño de la carretera. Es recomendable realizar estudios de laboratorio y pruebas de campo para determinar la solución más efectiva.

2.2.4.2. Ventajas de la estabilización de los suelos

Es un método empleado para mejorar su calidad y durabilidad. Se emplea en la fabricación de carreteras, estructuras, franjas aeroportuarias, operaciones mineras y explotaciones agrícolas. Los métodos utilizados para la estabilización del suelo varían en función del tipo específico de suelo y de la finalidad deseada. Estos métodos pueden implicar la incorporación de diversas sustancias como cemento, cal, cenizas volantes, asfalto, aditivos, geotextiles y polímeros, entre otros.

La estabilización de los suelos ofrece varias ventajas:

- Capacidad de utilizar suelos con un nivel de humedad superior.
- Mejorar la resistencia y la capacidad portante del suelo.
- Reducción de la plasticidad y la compresibilidad.
- Creación de una superficie impermeable.
- Mejora de la durabilidad y estabilidad del suelo.
- Reduce el riesgo de erosión, tamaños, hundimientos o asentamientos.

2.2.4.3. Ventajas de la estabilización de los suelos

Algunas ventajas de suelos estabilizados incluyen:

1. **Aumento de la resistencia:** La estabilización de suelos mejora la resistencia del suelo, lo que es primordial para soportar cargas pesadas y prevenir asentamientos no deseados.



2. **Reducción de la plasticidad:** Al estabilizar el suelo, se reduce la plasticidad, lo que significa que el suelo es menos propenso a deformarse o moverse con cambios en la humedad.
3. **Incremento de la estabilidad:** La estabilización del suelo mejora la estabilidad general del terreno, lo que es esencial para prevenir avances graduales de tierra y garantizar la seguridad.
4. **Mejora de la durabilidad:** La estabilización aumenta la durabilidad del suelo, lo que es importante para garantizar la longevidad de las estructuras.
5. **Reducción de la susceptibilidad al agua:** La estabilización aumenta la durabilidad del suelo, lo que es importante para garantizar la longevidad.
6. **Mejora de la capacidad portante:** La estabilización de suelos aumenta la capacidad del suelo, lo que permite construir cimientos más sólidos y duraderos. (Yepes, 2010)
7. **Reducción de la compresibilidad:** La estabilización reduce la compresibilidad del suelo, lo que ayuda a prevenir asentamientos no deseados.
8. **Mejora de la permeabilidad:** Puede mejorar la permeabilidad del suelo, lo que es importante para garantizar un drenaje adecuado.
9. **Reducción del riesgo de erosión:** Se reduce el riesgo de erosión, lo que es especialmente importante en áreas propensas a la erosión del suelo.
10. **Aumento de la capacidad de carga:** La estabilización de suelos aumenta la capacidad de carga del suelo, lo que es esencial para soportar estructuras pesadas y prevenir asentamientos.

2.2.5. Subrasante

Es la superficie de las explicaciones terminadas sobre la que se construirá la estructura del pavimento. Es una de las capas más importantes de la carretera, ya que soporta las cargas que transmiten el pavimento y sirve como cimentación del pavimento. La subrasante se clasifica en función de su valor CBR en diferentes clases: S0 (subrasante



de muy baja calidad), S1 (subrasante de baja calidad), S2 (subrasante de calidad moderada), S3 (subrasante de alta calidad) y S4 (subrasante de excelente calidad). El uso de ceniza de quinua y cal para la estabilización de subrasantes en Perú ha demostrado ser beneficioso para mejorar las propiedades del suelo cohesivo. Esto incluye la reducción de la variabilidad del LL, LP e IP, así como la disminución del OCH y el aumento de la densidad seca. El CBR mostró un aumento, alcanzando una magnitud del 34,0% al 100% de densidad seca. Al 95% de densidad seca, mostró un valor de 27,4%. La incorporación de ceniza de quinua y cal mejora las características mecánicas del suelo, garantizando así la estabilidad duradera y la integridad estructural de las construcciones erigidas sobre el suelo.

2.2.5.1. Aspectos importantes en una subrasante

Según (Higuera, 2010) la subrasante desempeña un papel crucial debido a sus características físicas, en particular sus propiedades mecánicas como el CBR. Una subrasante de alta calidad puede disminuir significativamente los gastos de mantenimiento al minimizar la probabilidad de fallas. Una subrasante adecuada debe priorizar una superficie lisa y consistente, minimizando cualquier imperfección.

La subrasante es una capa crítica en la estructura de una carretera y su desempeño influye directamente en la durabilidad y funcionalidad de la carretera. Los siguientes son aspectos importantes a considerar para asegurar una subrasante adecuada:

- El nivel de humedad debe permanecer constante.
- El suelo debe tener suficiente capacidad de drenaje para el agua de precipitación.
- El suelo debe poseer una resistencia mecánica adecuada para soportar las cargas de los vehículos.
- La subrasante debe ser capaz de soportar las cargas del tráfico vehicular sin sufrir deformaciones excesivas.
- La subrasante debe estar bien compactada para proporcionar una base estable y uniforme.



- La subrasante debe tener propiedades de drenaje adecuadas para evitar acumular el agua.
- La subrasante debe ser geotécnicamente estable para soportar las cargas y condiciones ambientales.
- La subrasante debe ser uniforme en términos de composición y compactación.
- La subrasante debe ser capaz de resistir las variaciones climáticas, como el ciclo de congelación y deshielo.
- La selección de materiales para la subrasante debe basarse en sus propiedades.
- En algunos casos, puede ser necesario mejorar las propiedades del suelo de la subrasante mediante tratamientos químicos o mecánicos.
- La subrasante debe ser evaluada mediante pruebas geotécnicas para asegurar que cumple con los estándares requeridos.

2.2.5.2. Características de la subrasante

Según el MTC (2008), los principales requisitos que debe cumplir una subrasante son los siguientes:

- El CBR de la subrasante debe superar el 6% cuando la profundidad máxima es de 0,60 m.
- Si el CBR (California Bearing Ratio) es inferior al 6%, es necesario estabilizarlo.

Según (Higuera, 2010) los suelos óptimos para subrasantes son aquellos que tienen un tamaño de grano consistente, una pequeña cantidad de partículas finas y no tienen piedras grandes.

Según la información proporcionada, afirma que los suelos más favorables incluirían características como facilidad de compactación, alta resistencia a la carga y resiliencia a las fluctuaciones bruscas de humedad, especialmente en regiones situadas a una altitud de 2500 msnm.

2.2.5.3. Propiedades de la subrasante

La subrasante es la capa de suelo natural o compactado que se encuentra justo debajo de la estructura de un pavimento, ya sea para carreteras, aeropuertos, caminos o cualquier otra infraestructura vial. Las propiedades de la subrasante son cruciales porque influyen directamente en el comportamiento y la durabilidad del pavimento. A continuación, se detallan las principales propiedades de la subrasante:

1. Capacidad de carga:

- Descripción: La capacidad de la subrasante para soportar las cargas aplicadas por el tráfico sin sufrir deformaciones excesivas.
- Importancia: Una alta capacidad de carga reduce el riesgo de fallos estructurales en el pavimento.
- Medición: Se evalúa mediante pruebas de soporte como el CBR o el Modulus of Subgrade Reaction (k).

2. Resistencia al cizallamiento:

- Descripción: La resistencia de la subrasante a la deformación y al desplazamiento bajo carga.
- Importancia: Asegura la estabilidad del pavimento y evita fallas estructurales.
- Medición: Evaluada mediante ensayos de corte directo o triaxiales.

3. Permeabilidad:

- Descripción: La capacidad de la subrasante para permitir el paso de agua a través de ella.
- Importancia: Influye en la acumulación de agua dentro del pavimento, afectando su durabilidad y desempeño.
- Medición: Se mide mediante ensayos de permeabilidad en el laboratorio o en campo.



4. **Compacidad:**

- Descripción: El grado de densificación del suelo en la subrasante.
- Importancia: Una subrasante bien compactada reduce la cantidad de asentamiento y mejora la capacidad de carga.
- Medición: Determinada mediante pruebas de densidad in situ, como el ensayo de cono de arena.

5. **Plasticidad:**

- Descripción: La capacidad del suelo de la subrasante para deformarse plásticamente sin fracturarse.
- Importancia: Afecta la estabilidad del pavimento, especialmente en condiciones de carga cíclica y variación de humedad.
- Medición: Evaluada mediante los límites de Atterberg (LL, LP e IP).

6. **Expansividad:**

- Descripción: La tendencia de algunos suelos a cambiar de volumen con variaciones.
- Importancia: Los suelos expansivos pueden causar deformaciones significativas en el pavimento.
- Medición: Mediante ensayos de expansión del suelo, así como la identificación de minerales expansivos.

7. **Contenido de humedad:**

- Descripción: La cantidad de agua presente en la subrasante en relación con su peso seco.
- Importancia: Afecta las propiedades mecánicas y la estabilidad del suelo.
- Medición: Determinada mediante ensayos de contenido de humedad, como el método del horno o el método del densímetro nuclear.



8. Grado de saturación:

- Descripción: La proporción del volumen de agua en los poros del suelo en comparación con el volumen total de poros.
- Importancia: Influye en la capacidad de carga y en la resistencia al cizallamiento del suelo.

9. MDS y OCH:

- Descripción: La DMS que puede alcanzar el suelo de la subrasante a una OCH de compactación.
- Importancia: Ayuda a determinar las condiciones ideales para la compactación del suelo.
- Medición: Evaluada mediante ensayos de Proctor estándar y modificado.

2.2.5.4. Ensayos para evaluar las propiedades de la subrasante

Para evaluar las propiedades de la subrasante, se utilizan varios ensayos comunes en ingeniería geotécnica. Estos ensayos proporcionan información crucial sobre la capacidad de carga, la resistencia al cizallamiento, la permeabilidad, la compactación y otras características importantes del suelo subyacente a una estructura de pavimento.

✚ Clasificación de suelos:

- Para averiguar cuál es la distribución del tamaño de las partículas, utilizamos un análisis granulométrico (según ASTM D422).
- Límites de Atterberg (ASTM D4318) para evaluar la plasticidad del suelo.
- Clasificación según SUCS o AASHTO para entender las características del suelo.

✚ Resistencia y capacidad de soporte:

- Ensayo de CBR (ASTM D1883) para medir la resistencia y capacidad de soporte del suelo compactado.

✚ **Expansión y contracción:**

- Ensayo de Hinchamiento Libre (ASTM D4546) para evaluar la susceptibilidad a la expansión.
- Ensayo de Contracción Lineal (ASTM D427) para medir la contracción del suelo al secarse.

✚ **Permeabilidad:**

- Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante o Carga Variable (ASTM D2434) para medir la capacidad de drenaje del suelo.

✚ **Resistencia al corte:**

- Ensayo de Compresión Triaxial (ASTM D2850) para determinar parámetros de cohesión y ángulo de fricción.

Los ensayos mencionados son fundamentales para caracterizar las propiedades de la subrasante y asegurar su adecuación para proyectos de infraestructura. La correcta evaluación de estas propiedades permite a los ingenieros diseñar pavimentos y otras estructuras de manera más eficiente, garantizando su estabilidad y durabilidad. Cada ensayo proporciona información específica que, en conjunto, ofrece una visión integral del comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones y cargas.

2.2.5.5. Aspectos importantes en una subrasante

Una subrasante es una capa de suelo natural o mejorado que se encuentra directamente debajo de la base de un pavimento. Es fundamental que la subrasante tenga ciertas características y propiedades para garantizar la estabilidad, durabilidad y buen desempeño del pavimento sobre ella. A continuación, se mencionan los aspectos importantes que deben considerarse en una subrasante:

✓ **Capacidad de soporte:**

La subrasante debe tener la capacidad de soportar las cargas del tráfico vehicular sin deformaciones excesivas. Esto se evalúa mediante ensayos como el (CBR) u otros métodos de prueba de soporte.



✓ **Estabilidad:**

La estabilidad de la subrasante se refiere a su resistencia a la deformación bajo las cargas aplicadas. Es crucial para prevenir asentamientos y fallas del pavimento. Se evalúa mediante ensayos de resistencia al corte y compactación adecuada.

✓ **Compactación:**

La subrasante debe estar compactada adecuadamente para alcanzar una densidad suficiente. La falta de compactación puede llevar a asentamientos posteriores y deterioro prematuro del pavimento.

✓ **Uniformidad y planicidad:**

Es importante que la subrasante sea uniforme y tenga una superficie plana para asegurar una distribución uniforme de las cargas del pavimento y evitar deformaciones localizadas.

✓ **Drenaje:**

La subrasante tiene una adecuada capacidad de drenaje para evitar la acumulación de agua debajo del pavimento. Esto es crucial para prevenir problemas de congelamiento/descongelamiento y pérdida de capacidad portante.

✓ **Compatibilidad con la base y el pavimento:**

La subrasante debe ser compatible con la base y el pavimento superiores en términos de resistencia y comportamiento mecánico. Debe proporcionar una base sólida y estable para la construcción del pavimento.

✓ **Propiedades geotécnicas:**

Se deben evaluar y controlar propiedades como la plasticidad, expansividad, contenido de humedad, permeabilidad y resistencia al corte para garantizar la adecuación del suelo como subrasante.

✓ **Evaluación del impacto ambiental:**

Es importante considerar el impacto ambiental de cualquier material utilizado en la subrasante, así como las técnicas de construcción empleadas.



✓ **Mantenimiento y control de calidad:**

Se deben establecer procedimientos de control de calidad durante la construcción de la subrasante y programas de mantenimiento para garantizar su funcionalidad a lo largo del tiempo.

✓ **Consideraciones económicas:**

Además de los aspectos técnicos, también se deben considerar los costos asociados con la construcción, mantenimiento y reparación de la subrasante a lo largo del ciclo de vida del pavimento.

2.2.5.6. Suelos no aptos para subrasante

Los suelos no aptos para subrasante son aquellos que presentan características que pueden comprometer la estabilidad y durabilidad del pavimento si se utilizan directamente como base. Estas características pueden variar dependiendo del tipo de suelo y las condiciones específicas del sitio, pero generalmente incluyen lo siguiente:

1. Suelos altamente orgánicos:

Los suelos con alto contenido de materia orgánica son propensos a asentamientos y deterioro bajo carga. La descomposición de la materia orgánica puede resultar en cambios volumétricos significativos que afectan la estabilidad de la subrasante y del pavimento.

2. Suelos expansivos:

Los suelos expansivos, como las arcillas expansivas, tienen una alta capacidad para expandirse y contraerse significativamente con cambios en el contenido de humedad. Esto puede causar deformaciones importantes en el pavimento y problemas de nivelación.

3. Suelos con alta plasticidad:

Los suelos con alta plasticidad tienden a tener un alto índice de plasticidad y pueden experimentar. Estos suelos son difíciles de compactar adecuadamente y pueden llevar a problemas de deformación y asentamiento del pavimento.



4. Suelos con baja capacidad de soporte:

Los suelos con baja capacidad portante no pueden soportar adecuadamente las cargas del tráfico sin sufrir deformaciones excesivas. Esto puede resultar en asentamientos diferenciales y fallas prematuras del pavimento.

5. Suelos inestables o erodables:

Los suelos inestables o erosionables son propensos a movimientos y pérdida de material debido a la erosión o cambios en las condiciones de carga. Estos suelos no proporcionan una base sólida y estable para el pavimento.

6. Suelos con alta porosidad o permeabilidad:

Los suelos con alta porosidad o permeabilidad pueden permitir una infiltración excesiva de agua, lo que puede debilitar la subrasante y el pavimento, especialmente en áreas con ciclos de congelación y descongelación.

7. Suelos contaminados:

Los suelos contaminados con materiales orgánicos, químicos o residuos pueden tener propiedades físicas y mecánicas alteradas que los hacen inadecuados como subrasante.

8. Suelos con características heterogéneas:

Los suelos con una composición heterogénea, como la presencia de estratos blandos intercalados con estratos más duros, pueden dificultar la obtención de una compactación uniforme y estable.

Consideraciones adicionales:

- **Evaluación geotécnica:**

Antes de seleccionar una subrasante, es fundamental realizar una evaluación geotécnica exhaustiva del suelo para identificar sus propiedades y determinar su idoneidad como subrasante.

- **Alternativas de mejora:**

En algunos casos, los suelos problemáticos pueden mejorarse mediante técnicas de estabilización, como la adición de agentes estabilizadores (por ejemplo, cal, cemento) o el uso de geosintéticos.

- **Impacto ambiental:**

Es importante considerar el impacto ambiental de cualquier intervención en el suelo y asegurar que las soluciones sean sostenibles a largo plazo.

Seleccionar una subrasante adecuada es crucial para la construcción de un pavimento duradero y de alto rendimiento. La evaluación cuidadosa de las características del suelo y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario ayudarán a asegurar la estabilidad y la longevidad del pavimento.

2.2.6. Subrasante en carreteras

Es la base sobre la que descansan todas las demás capas de la carretera, incluyendo la subbase, la base y la capa de rodadura (superficie de la carretera). La calidad y las características de la subrasante son cruciales para la durabilidad y el desempeño de la carretera. A continuación, se presentan los aspectos clave de la subrasante en carreteras:

a) Funciones de la subrasante.

- **Soporte estructural:**

Proporciona el soporte necesario para las capas superiores de la carretera y las cargas del tráfico.

- **Distribución de cargas:**

Distribuye las cargas de tráfico hacia el suelo subyacente de manera uniforme para evitar deformaciones y asentamientos diferenciales.

- **Drenaje:**

Facilita el drenaje del agua que puede infiltrarse desde la superficie de la carretera, previniendo la acumulación de agua que podría debilitar las capas superiores.



b) Características importantes de la subrasante

- **Capacidad de carga:**

La subrasante debe contar con una capacidad de carga adecuada para soportar el tráfico y las cargas aplicadas sin sufrir deformaciones excesivas.

- **Drenaje:**

Una buena subrasante debe permitir el drenaje adecuado del agua para evitar problemas de saturación que pueden reducir la resistencia del suelo.

- **Estabilidad:**

Debe ser estable y no sufrir cambios volumétricos significativos debido a variaciones en el contenido de humedad.

- **Resistencia:**

Debe tener suficiente resistencia para soportar las cargas aplicadas sin deformarse excesivamente.

c) Evaluación y preparación de la subrasante

- **Pruebas de campo y laboratorio:**

Se realizan pruebas geotécnicas para evaluar las propiedades del suelo, como la capacidad de carga, la densidad, la permeabilidad y la plasticidad. Entre las pruebas comunes se incluyen el ensayo Proctor, el ensayo de penetración estándar (SPT) y de corte directo.

- **Mejoramiento del suelo:**

Si la subrasante natural no cumple con los requisitos, puede ser necesario mejorar sus propiedades mediante técnicas como la estabilización con cal, cemento, o aditivos químicos, o la sustitución del suelo inadecuado con materiales de mejor calidad.

- **Compactación:**

La subrasante debe ser compactada adecuadamente para alcanzar la densidad requerida, lo que mejora su capacidad de carga y estabilidad.



d) Técnicas de estabilización

- **Estabilización mecánica:**

Mezcla de la subrasante con materiales granulares como grava o arena para mejorar sus propiedades mecánicas.

- **Estabilización química:**

Uso de estabilizantes como cal, cemento o productos químicos para mejorar la resistencia y reducir la plasticidad del suelo.

- **Geosintéticos:**

Uso de geotextiles, geomallas o geocompuestos para mejorar la estabilidad y el drenaje de la subrasante.

e) Importancia de la subrasante en la construcción de las vías

- **Durabilidad:**

Una subrasante bien preparada y estabilizada aumenta la vida útil de la carretera, reduciendo la necesidad de reparaciones y mantenimiento frecuentes.

- **Seguridad:**

Una subrasante estable y bien drenada mejora la seguridad de la carretera al reducir el riesgo de fallos estructurales y deformaciones.

- **Costos:**

Invertir en la preparación adecuada de la subrasante puede reducir los costos a largo plazo al minimizar el mantenimiento y las reparaciones necesarias.

2.2.6.1. Mejoramiento de la subrasante

El mejoramiento de la subrasante es un proceso clave en la construcción y mantenimiento de carreteras, especialmente cuando las condiciones del suelo natural no son adecuadas para soportar las cargas de tráfico y proporcionar una base estable para



las capas superiores de la carretera. A continuación, se describen diversas técnicas y métodos utilizados para el mejoramiento de la subrasante:

Técnicas de mejoramiento de la subrasante.

1. Estabilización mecánica:

Descripción: Consiste en mezclar la subrasante con materiales granulares como arena, grava o escoria para mejorar sus propiedades.

Beneficios:

- Aumenta la capacidad de carga.
- Mejora la compactabilidad y reduce la susceptibilidad a la deformación.
- Mejora la resistencia al agua y al congelamiento.

2. Estabilización química:

Con cal: La cal se mezcla con el suelo para reducir su plasticidad y aumentar su resistencia.

Beneficios:

- Mejora la capacidad de carga y la estabilidad.
- Reduce la expansión y contracción del suelo arcilloso.
- Aumenta la resistencia a la humedad.

Con cemento: El cemento se mezcla con el suelo para formar una matriz rígida.

Beneficios:

- Proporciona alta resistencia y durabilidad.
- Reduce la permeabilidad y mejora la estabilidad.

Con polímeros y otros aditivos: Se utilizan polímeros, enzimas u otros productos químicos para mejorar las propiedades del suelo.

Beneficios:

- Mejora la cohesión y la resistencia.
- Aumenta la durabilidad y reduce el polvo.

3. Uso de geosintéticos:



Descripción: Incluye geotextiles, geomallas y geoceldas que se colocan en la subrasante para mejorar su estabilidad y resistencia.

Beneficios:

- Refuerzan el suelo y distribuyen las cargas de manera uniforme.
- Mejoran el drenaje y reducen la erosión.
- Proporcionan separación y estabilización de capas.

4. Compactación:

Descripción: La compactación del suelo se realiza para aumentar su densidad y mejorar sus propiedades mecánicas.

Beneficios:

- Aumenta la capacidad de carga y reduce la compresibilidad.
- Mejora la resistencia al corte.

Métodos:

- Compactadores de rodillo vibratorio.
- Compactadores de placas y pisones.
- Rodillos neumáticos.

5. Drenaje y control de agua:

Descripción: Implementar sistemas de drenaje para controlar el nivel de agua y la humedad en la subrasante.

Beneficios:

- Previene la saturación del suelo y reduce la pérdida de capacidad de carga.
- Aumenta la vida útil de la carretera y mejora la estabilidad.

Métodos:

- Drenes franceses y zanjas de drenaje.
- Tubos de drenaje perforados.
- Sistemas de drenaje superficial y subterráneo.

2.2.6.2. Pasos para mejorar la subrasante

A continuación, presentamos los principales pasos:

❖ **Evaluación del suelo:**

Realizar estudios geotécnicos para determinar las propiedades del suelo, como su capacidad de carga, densidad, plasticidad y contenido de humedad.

❖ **Selección de la técnica de mejoramiento:**

Basado en los resultados de la evaluación, seleccionar la técnica de mejoramiento más adecuada para las condiciones específicas del sitio.

❖ **Preparación del área:**

Limpiar el área de trabajo, remover material suelto y preparar la superficie del suelo para el tratamiento.

❖ **Aplicación de mejoramiento:**

Aplicar la técnica seleccionada (mezcla con materiales granulares, aditivos químicos, instalación de geosintéticos, etc.).

❖ **Compactación y curado:**

Compactar el suelo tratado para alcanzar la densidad requerida y permitir el curado adecuado, especialmente en el caso de la estabilización química.

❖ **Control de calidad:**

Realizar pruebas y monitorear la calidad del suelo mejorado para asegurar que cumple con los requisitos del diseño y especificaciones.

Consideraciones importantes.

❖ **Condiciones climáticas:** Las condiciones climáticas, como la humedad y la temperatura, pueden afectar la efectividad de las técnicas de mejoramiento y deben ser consideradas durante el proceso.

❖ **Costos y recursos:** Evaluar los costos y la disponibilidad de recursos (materiales y equipos) para seleccionar la técnica de mejoramiento más económica y efectiva.

❖ **Impacto ambiental:** Considerar el impacto ambiental de las técnicas de mejoramiento y optar por métodos sostenibles cuando sea posible.

El mejoramiento de la subrasante es esencial para garantizar la estabilidad y durabilidad de las carreteras, proporcionando una base sólida que soporta las cargas de tráfico y reduce la necesidad de mantenimiento frecuente.

2.2.6.3. Métodos tradicionales de mejoramiento de la subrasante

Los métodos tradicionales de mejoramiento de la subrasante se han desarrollado a lo largo del tiempo para fortalecer y estabilizar el suelo natural bajo las carreteras. Estos métodos suelen ser técnicas mecánicas que implican la manipulación física del suelo o el uso de materiales granulares para mejorar sus propiedades. A continuación, se describen algunos de los métodos tradicionales más comunes:

1. Compactación.

La compactación es el método más básico y ampliamente utilizado para mejorar la subrasante. Los equipos de compactación típicos incluyen rodillos vibrantes, placas vibratorias y pisones. Los pasos clave incluyen:

- **Preparación del sitio:** Limpiar y nivelar la subrasante existente.
- **Aplicación de cargas:** Utilización de equipos de compactación para aplicar cargas controladas sobre el suelo.
- **Control de humedad:** Ajustar la humedad del suelo para optimizar la compactación.
- **Evaluación de densidad:** Verificar la densidad alcanzada mediante pruebas de campo.

2. Estabilización con materiales granulares.

Consiste en mezclar materiales granulares, como grava, arena o piedra triturada, con el suelo existente para mejorar sus propiedades mecánicas. Este método es útil cuando el suelo natural no tiene la capacidad de carga adecuada o es demasiado plástico. Los pasos incluyen:



- **Mezcla:** Introducción y mezcla de materiales granulares con el suelo existente mediante equipos de mezclado.
- **Compactación:** Compactación del suelo estabilizado para aumentar su densidad.
- **Curado:** Permitir el tiempo necesario para que el suelo estabilizado se asiente y cure adecuadamente.

3. Estabilización química.

Este método implica la adición de productos químicos al suelo para mejorar sus propiedades mecánicas y/o químicas. Los productos químicos comúnmente utilizados incluyen cal, cemento, emulsiones asfálticas, y otros estabilizantes específicos. Los pasos típicos incluyen:

- **Preparación del suelo:** Preparación del suelo existente para la aplicación del estabilizante.
- **Mezcla:** Mezcla del estabilizante químico con el suelo utilizando equipos de mezclado.
- **Compactación:** Compactación del suelo estabilizado para mejorar su densidad y resistencia.
- **Curado:** Período de curado para permitir que el estabilizante químico se active y el suelo se estabilice completamente.

4. Uso de geosintéticos.

Los geosintéticos, como geotextiles y geomallas, se utilizan para reforzar y estabilizar la subrasante. Estos materiales se colocan entre capas de suelo para mejorar la resistencia a la tracción y distribuir las cargas de manera uniforme. Los pasos incluyen:

- **Preparación del suelo:** Limpieza y preparación de la subrasante existente.
- **Colocación de geosintéticos:** Instalación de geotextiles o geomallas sobre la subrasante.

- **Capas adicionales:** Colocación de capas adicionales de suelo o materiales granulares según sea necesario.
- **Compactación:** Compactación de las capas sucesivas para lograr la densidad requerida.

5. Consideraciones importantes.

- **Evaluación del suelo:** Es fundamental realizar pruebas geotécnicas para evaluar las propiedades del suelo antes de aplicar cualquier método de mejoramiento.
- **Control de calidad:** Realizar pruebas de campo y control de calidad para verificar que las especificaciones de diseño se cumplan durante y después del proceso de mejoramiento.
- **Impacto ambiental:** Considerar el impacto ambiental de los métodos utilizados y optar por prácticas sostenibles cuando sea posible.

2.2.6.4. Importancia de la subrasante en la infraestructura vial

La subrasante es un componente crucial de la infraestructura viaria, ya que afecta directamente a la longevidad, estabilidad y seguridad de las carreteras. A continuación se describen los factores clave relativos a la importancia de la subrasante:

Soporte de cargas.

✓ **Base de la carretera:**

La subrasante sirve como la base sobre la cual se construyen todas las capas de la carretera, incluyendo la subbase, la base y la capa de rodadura. Proporciona el soporte estructural necesario para resistir las cargas del tráfico, vehículos pesados y condiciones climáticas cambiantes.

✓ **Distribución uniforme de cargas:**

Distribuye las cargas del tráfico de manera uniforme a través del suelo subyacente. Esto ayuda a prevenir deformaciones y asentamientos diferenciales que podrían comprometer la integridad estructural de la carretera.



Estabilidad y durabilidad.

✓ **Resistencia a deformaciones:**

Una subrasante adecuadamente diseñada y preparada es crucial para minimizar la deformación permanente (rutting) y asegurar que la superficie de la carretera permanezca nivelada y uniforme durante su vida útil.

✓ **Resistencia a la erosión y estabilidad del talud:**

La estabilidad de la subrasante contribuye a la estabilidad general del talud de la carretera, ayudando a prevenir la erosión y los deslizamientos de tierra.

✓ **Reducción de mantenimiento:**

Una subrasante bien construida y mantenida reduce la necesidad de trabajos de mantenimiento costosos y frecuentes, prolongando la vida útil de la carretera y minimizando las interrupciones al tráfico.

Drenaje eficaz.

✓ **Control del agua:**

La subrasante debe permitir un drenaje eficiente del agua de lluvia y del subsuelo. Esto evita la acumulación de agua que podría debilitar las capas superiores de la carretera y contribuir a la formación de baches y hundimientos.

✓ **Prevención de problemas por congelación y deshielo:**

Un buen drenaje reduce el riesgo de daños causados por ciclos de congelación y deshielo, que pueden comprometer la estabilidad y la resistencia del pavimento.

Impacto ambiental.

✓ **Sostenibilidad:**

Una subrasante planificada adecuadamente puede integrar métodos y recursos sostenibles, como la utilización de materiales reciclados o procesos de construcción que reduzcan el daño medioambiental, apoyando así la sostenibilidad en la infraestructura vial.

Seguridad vial.

✓ **Reducción de accidentes:**

Una subrasante estable y bien mantenida contribuye a una superficie de carretera más segura, reduciendo el riesgo de accidentes debido a deformaciones, baches y problemas de drenaje.

✓ **Confort del usuario:**

Una superficie de carretera nivelada y uniforme proporcionada por una subrasante estable mejora el confort de los conductores y pasajeros, especialmente en viajes largos y condiciones climáticas adversas.

Economía y eficiencia.

✓ **Optimización de recursos:**

Invertir en una subrasante de alta calidad desde el principio puede reducir los costos operativos y de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la carretera, optimizando así los recursos públicos y privados.

En resumen, la subrasante es esencial para la infraestructura vial por su papel en proporcionar una base sólida y estable para las carreteras. Su correcto diseño, construcción y mantenimiento son críticos para garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia operativa de las vías de comunicación terrestre.

2.2.7. Óxido de calcio

El óxido de calcio, es una sustancia química utilizada para la estabilización del suelo, especialmente en la construcción de subrasantes de carreteras. Esta sustancia tiene un efecto beneficioso sobre las cualidades físicas y mecánicas de la subrasante, aumentando su resistencia y su capacidad para soportar peso. La utilización de óxido de calcio para la estabilización química puede aumentar la longevidad y robustez del suelo, garantizando así la longevidad y el rendimiento de la infraestructura vial construida sobre esta subrasante. Además, el óxido de calcio puede ser utilizado para mejorar la compactación del suelo, lo que contribuye a una base sólida y duradera para el pavimento, Saavedra (2022).

2.2.7.1. Tipos de óxido de calcio (cal)

Según, Saavedra (2022) afirma que la presencia de impurezas en las rocas calizas podría dar lugar a diversos tipos de cal u óxido de calcio:

- **Cal viva:** se produce a partir de la combustión de piedra caliza. Cuando se añade agua a esta sustancia, se forman morteros que mejoran las características del suelo. La principal ventaja de esta sustancia es su rentabilidad, gracias a su abundante disponibilidad. Sin embargo, su correcta hidratación requiere una cuidadosa atención.
- **Cal hidratada:** es el resultado de la interacción química entre el óxido de calcio y el agua, que da lugar a la formación de hidróxido de calcio. El principal beneficio de su uso radica en su rendimiento superior en suelos húmedos. Sin embargo, cuando se mezcla, produce importantes volúmenes de polvo e incurre en mayores gastos de transporte.

Es importante tener en cuenta que el agua sólo puede añadirse a la cal hidratada mediante los métodos de pulverización, inmersión o fusión.

2.2.7.2. Óxido de calcio en la subrasante

El óxido de calcio (CaO), puede utilizarse en la estabilización de suelos, incluida la subrasante, para mejorar algunas de sus propiedades mecánicas y de comportamiento.

Aquí te explico cómo puede ser aplicado y los beneficios que puede aportar:

a) inclusión del óxido de calcio en la subrasante.

○ **Mezcla con el suelo:**

El óxido de calcio se mezcla directamente con el suelo en proporciones específicas. Esta mezcla puede realizarse in situ durante la construcción de la subrasante.

○ **Activación química:**



La reacción del óxido de calcio con el agua presente en el suelo produce hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Este proceso, conocido como hidratación, ayuda a estabilizar el suelo al mejorar su cohesión y resistencia.

- **Compactación y curado:**

Después de la mezcla, el suelo estabilizado con óxido de calcio se compacta adecuadamente para aumentar su densidad y resistencia. Luego se permite un período de curado para que la reacción química se complete y el suelo alcance su resistencia máxima.

b) Beneficios de utilizar óxido de calcio en la subrasante.

- **Mejora de la resistencia y estabilidad:**

El óxido de calcio ayuda a mejorar la capacidad de carga del suelo al aumentar su resistencia a la compresión y al corte. Esto resulta en una subrasante más estable que puede soportar mejor las cargas del tráfico.

- **Reducción de la plasticidad:**

Al adicionar óxido de calcio tiende a una reducción de la plasticidad del suelo, lo que significa que el suelo se vuelve menos susceptible a la deformación y a los cambios volumétricos causados por la humedad.

- **Mejora del comportamiento frente al agua:**

La estabilización con óxido de calcio mejora la resistencia del suelo al agua al reducir su capacidad para absorber agua y al mejorar su durabilidad en ambientes húmedos.

- **Rápido tiempo de activación:**

El proceso de hidratación del óxido de calcio es relativamente rápido, lo que permite una activación rápida del suelo estabilizado, acortando el tiempo necesario para completar la estabilización.

- **Reducción de costos:**

En comparación con otros métodos de estabilización química, el uso de óxido de calcio puede ser más económico, lo que puede llevar a reducir los costos totales de construcción y mantenimiento de la subrasante.

c) Consideraciones importantes.

- **Cantidad y dosificación:** Es crucial calcular y dosificar adecuadamente el óxido de calcio según las características específicas del suelo y las condiciones del sitio para garantizar resultados óptimos de estabilización.
- **Impacto ambiental:** La manipulación y aplicación de óxido de calcio deben realizarse siguiendo prácticas ambientales seguras para minimizar cualquier impacto negativo en el entorno circundante.

En resumen, el óxido de calcio puede ser una opción viable para mejorar las características mecánicas y de rendimiento de la subrasante, creando así una base sólida y firme para la construcción de carreteras y otras infraestructuras.

2.2.7.3. Estabilización de suelos con cal

El uso de esta tecnología es un enfoque rentable para disminuir la flexibilidad de los suelos y mejorar su resiliencia. Las porciones varían entre el 1 y el 6% en relación al contenido de humedad de la sustancia a estabilizar.

1. Preparación del suelo.

- **Preparación del área:**

Se prepara el área donde se realizará la estabilización, asegurando que esté libre de materiales sueltos y obstáculos que puedan interferir con el proceso.

- **Excavación y mezcla:**

Se excava el suelo existente para alcanzar la profundidad deseada y se mezcla para asegurar una distribución uniforme de la cal.

2. Aplicación de la cal.

- **Forma de aplicación:**



La cal puede aplicarse en forma de polvo seco o como una suspensión acuosa conocida como leche de cal.

- **Distribución uniforme:**

La cal se distribuye uniformemente sobre el suelo a estabilizar. Esto se puede lograr mediante esparcimiento manual o utilizando maquinaria especializada que asegure una cobertura homogénea.

- **Mezclado:**

Después de aplicar la cal, se mezcla intensamente con el suelo existente. Esto puede realizarse con tractores equipados con implementos de mezcla o con estabilizadoras de suelos que integran la cal en el suelo de manera efectiva.

3. Compactación.

- **Proceso de compactación:**

Una vez que la cal está mezclada con el suelo, se procede a compactarlo. La compactación se realiza utilizando equipos pesados como compactadores de rodillos vibrantes o neumáticos para asegurar que el suelo esté densamente compactado.

- **Control de densidad:**

Durante el proceso de compactación, se monitorea y se ajusta la densidad del suelo para alcanzar los niveles de compactación especificados en el diseño del proyecto.

4. Curado y evaluación.

- **Curado del suelo:**

Después de la compactación, el suelo tratado con cal debe curarse adecuadamente. Esto permite que se desarrollen las reacciones químicas entre la cal y los minerales del suelo, mejorando las propiedades de estabilidad y resistencia.

- **Evaluación de resultados:**

Se realizan pruebas geotécnicas y de laboratorio para evaluar la efectividad del tratamiento. Estas pruebas pueden incluir ensayos de densidad, resistencia a la compresión, análisis de plasticidad, entre otros

5. Consideraciones importantes.

- **Cantidad de cal:** La cantidad de cal requerida depende de las características del suelo y del tipo de proyecto. Generalmente, se utiliza entre un 2% y un 8% en peso del suelo seco.
- **Condiciones ambientales:** Las condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura, pueden afectar la efectividad del tratamiento. Se deben considerar estas condiciones para garantizar un curado adecuado del suelo.
- **Control de calidad:** Es fundamental realizar un control de calidad durante todo el proceso para asegurar que la aplicación de la cal y la compactación se realicen de acuerdo con las especificaciones del diseño.

La aplicación de cal en el proceso de estabilización de suelos es una técnica efectiva para mejorar las propiedades del suelo, proporcionando una base sólida y estable para diversas aplicaciones de construcción e infraestructura.

Figura 5

Suelos establecidos con cal



Nota. Estabilización de suelos con cal.

2.2.7.4. Propiedades del óxido de calcio

El óxido de calcio (CaO), es un material que puede utilizarse en el contexto de la subrasante de carreteras u otras infraestructuras para mejorar algunas de sus propiedades (Gómez, 2020). Aquí hay algunas propiedades del óxido de calcio relevantes en este contexto:

- 1. Estabilización del suelo:** El óxido de calcio puede reaccionar con los componentes del suelo, como arcillas y materiales orgánicos, para mejorar su estabilidad y resistencia. Esta reacción química puede ayudar a aumentar la capacidad portante, reducir la expansión y contracción del suelo y mejorar su durabilidad.
- 2. Reducción de la plasticidad:** Reduce la plasticidad del suelo, lo que significa que el suelo será menos propenso a deformarse o cambiar de forma bajo cargas aplicadas.
- 3. Mejora de la compactación:** El óxido de calcio puede ayudar a mejorar la compactación del suelo, facilitando la creación de una subrasante más uniforme y estable.
- 4. Control de la humedad:** El óxido de calcio puede absorber y retener la humedad del suelo, lo que puede ser beneficioso para controlar el contenido de agua y prevenir problemas como la erosión o el hinchamiento del suelo.
- 5. Reducción de la erosión:** Al mejorar la estabilidad y la cohesión del suelo, el óxido de calcio puede ayudar a reducir la erosión del suelo causada por el agua y el viento, lo que puede ser especialmente importante en áreas propensas a la erosión.

2.2.7.5. Pasos para la estabilización de suelos

- **Preparación del suelo:** Utilice la escarificación para mejorar la mezcla de tierra y cal.
- **Extendido de la cal:** El esparcimiento de cal implica la aplicación de cal en los suelos designados de acuerdo con el plan sugerido. Esta tarea puede realizarse

utilizando sacos de cal especializados o empleando un mecanismo de dosificación volumétrica regulado por la velocidad del camión que transporta la cal. La cal se transporta al esparcidor por medios neumáticos, utilizando como fuentes tanto el camión cisterna como el silo regulador. (Gómez, 2020).

- **Mezclado:** Este proceso debe establecer una combinación completa y estrecha entre el suelo y la cal. Aquí se utilizan varios tipos de equipos, como pulvimixers, rotabators o arados clásicos, en función de las características específicas del suelo y la topografía. La maquinaria agrícola puede emplearse en regiones pequeñas. Lo mejor es utilizar un pulvimixer o un rotabator. La aplicación de una cantidad adecuada de agua es crucial para la activación de los iones de calcio, necesaria para la reacción con las arcillas y la posterior síntesis de silicatos cálcicos.
- **Compactación:** La mezcla se comprime utilizando compactadores neumáticos o apisonadores. La compactación debe realizarse en un plazo de 2-4 horas tras el proceso de mezcla para facilitar la reacción entre la cal, el agua y el suelo.

2.2.7.6. Beneficios que aporta la adición de óxido de calcio a la subrasante

La adición de óxido de calcio (CaO), comúnmente conocido como cal viva, a la subrasante de un pavimento o carretera ofrece varios beneficios significativos. Estos beneficios se deben a las reacciones químicas y físicas que ocurren entre la cal y los componentes del suelo. A continuación se describen los principales beneficios:

a) Mejora de las propiedades de la subrasante:

- La adición de óxido de calcio tiene un impacto beneficioso en las características de la subrasante.
- El óxido de calcio ayuda a estabilizar el suelo de la subrasante, mejorando su resistencia, CBR y reduciendo la susceptibilidad a la expansión y contracción.

b) Aumento de la durabilidad del pavimento:

- La inclusión de óxido de calcio contribuye a una mayor durabilidad y desempeño a largo plazo del pavimento construido sobre ella.



- De este modo se prolonga la vida útil del pavimento y se reducen los gastos de reparación.

c) Optimización del diseño del pavimento:

- Con una subrasante más resistente y estable, se puede optimizar el diseño del pavimento, reduciendo los espesores requeridos de las capas superiores.
- Esto conlleva a un ahorro en materiales y costos de construcción.

d) Mejora de la transitabilidad:

- Al estabilizar la subrasante, se evitan problemas como hundimientos, baches y deformaciones, lo que se traduce en una mejor transitabilidad y comodidad para los usuarios.

En resumen, la inclusión de óxido de calcio a la subrasante aporta beneficios significativos, aumentando la durabilidad del pavimento, optimización del diseño y mejora de la transitabilidad, lo cual es de gran valor para la empresa distribuidora de cemento.

2.2.8. Conchas marinas trituradas

El uso de conchas marinas como componente del subrasante ha sido discutido en varios documentos. Las conchas marinas pueden triturarse y utilizarse como sustituto del árido en el subrasante, como se ve en, que menciona que el uso de conchas marinas trituradas y un equivalente de arena de 50. En, se mencionan las conchas marinas como componente en la formación del subrasante, junto con conchas de animales y arcilla. El documento señala que las conchas deben triturarse o cortarse y fracturarse fuertemente.

Figura 6*Conchas marinas trituradas*

Nota: Conchas de mar.

2.2.8.1. Conchas marinas en la subrasante

El uso de conchas marinas en la estabilización de la subrasante es una técnica alternativa y sostenible que puede ofrecer varios beneficios, especialmente en regiones costeras donde estos materiales están disponibles. A continuación, se detallan los métodos de aplicación y los beneficios de utilizar conchas marinas en la subrasante:

Aplicación de conchas marinas en la subrasante.

a) Preparación de conchas:

Las conchas marinas deben ser trituradas hasta alcanzar un tamaño adecuado, similar al de los agregados convencionales. Este proceso puede incluir la limpieza y eliminación de materiales orgánicos adheridos a las conchas.

b) Mezcla con el suelo:

Las conchas trituradas se mezclan con el suelo existente en la subrasante. La proporción de conchas en la mezcla depende de las características del suelo y los requisitos del diseño.

c) Compactación:



Después de mezclar las conchas con el suelo, la mezcla se compacta utilizando equipo de compactación estándar, como rodillos vibratorios o placas compactadoras.

d) Curado:

Se permite un período de curado para que la mezcla estabilizada se asiente y alcance su máxima resistencia.

Consideraciones importantes.

○ Preparación adecuada:

Es crucial que las conchas marinas se limpien y trituren adecuadamente para eliminar cualquier material orgánico que pueda descomponerse y afectar la estabilidad del suelo.

○ Compatibilidad del suelo:

La idoneidad del uso de conchas marinas debe evaluarse en función de las características específicas del suelo. Realizar pruebas geotécnicas es esencial para determinar la proporción óptima de conchas en la mezcla.

○ Control de calidad:

Se deben realizar pruebas después de la aplicación para asegurar que la mezcla de suelo y conchas marinas cumpla con los requisitos de diseño y rendimiento.

○ Impacto ambiental:

Aunque el uso de conchas marinas es generalmente sostenible, es importante considerar y mitigar cualquier posible impacto ambiental, como la alteración de ecosistemas marinos durante la recolección de conchas.

2.2.8.2. Procesamiento y preparación de conchas marinas para uso en carreteras

El procesamiento y preparación de conchas marinas para su uso en la estabilización de carreteras implican varias etapas para asegurar que sean adecuadas y



efectivas como material de construcción. A continuación se detalla un proceso típico para preparar conchas marinas para este propósito:

1. Recolección.

Fuentes de conchas:

Las conchas marinas pueden recolectarse de playas, zonas costeras y áreas de desechos de la industria pesquera y marisquera.

Consideraciones ambientales:

Es importante obtener permisos y realizar la recolección de manera sostenible para minimizar el impacto en los ecosistemas marinos.

2. Limpieza.

Eliminación de material orgánico:

Las conchas recolectadas deben limpiarse para eliminar restos de materia orgánica que puedan descomponerse y afectar la estabilidad del suelo. Esto puede incluir la eliminación de algas, residuos de animales marinos y otros materiales orgánicos.

Métodos de limpieza:

- Lavado con agua a presión.
- Sumergir las conchas en soluciones químicas suaves para eliminar residuos persistentes.

3. Trituración

Reducción del tamaño:

Las conchas marinas deben triturarse hasta obtener un tamaño similar al de los agregados convencionales. Esto puede realizarse utilizando trituradoras de mandíbula, molinos de martillos u otros equipos de trituración.

Control de tamaño:

Se deben tamizar las conchas trituradas para asegurar una distribución uniforme de tamaño y eliminar partículas demasiado finas o demasiado grandes.

4. Mezcla con el suelo

Proporción de mezcla:



La proporción de conchas trituradas en la mezcla de suelo debe determinarse mediante pruebas de laboratorio para asegurar la mejor combinación de resistencia, durabilidad y otras propiedades deseadas.

Equipos de mezcla:

Se pueden utilizar mezcladoras de suelos, mezcladoras de tambor rotativo o estabilizadores de suelos para mezclar uniformemente las conchas trituradas con el suelo existente.

5. Compactación

Métodos de compactación:

Después de la mezcla, el suelo estabilizado debe compactarse para aumentar su densidad y resistencia. Esto se puede lograr mediante el uso de rodillos vibratorios, rodillos de tambor liso, placas vibratorias o pisoneros.

Control de humedad:

Es importante ajustar y controlar la humedad del suelo durante la compactación para obtener los mejores resultados.

6. Curado

Tiempo de curado:

El suelo estabilizado debe dejarse curar durante un período adecuado para alcanzar su máxima resistencia. Esto puede variar según las condiciones climáticas y las especificaciones del proyecto.

7. Control de calidad

Pruebas de campo:

Se deben realizar pruebas de control de calidad, como densidad in situ, resistencia a la compresión y pruebas de permeabilidad, para asegurar que la subrasante estabilizada cumpla con los requisitos del diseño.

Monitoreo:

Monitoreo continuo durante el proceso de construcción para hacer ajustes según sea necesario y asegurar la calidad del producto final.

Al seguir este proceso, las conchas marinas pueden prepararse y utilizarse eficazmente para mejorar la subrasante, proporcionando una base más estable y duradera para la infraestructura vial.

2.2.8.3. Beneficios de las conchas marinas

A continuación se presentan algunos usos prácticos y beneficios potenciales del uso de conchas marinas trituradas en el subrasante:

- ❖ **Propiedades de drenaje mejoradas:** la naturaleza porosa de las conchas marinas trituradas puede ayudar a mejorar las características de drenaje del subrasante, lo cual es importante para prevenir la acumulación de agua y mantener la estabilidad de la carretera. (Medina, 2021).
- ❖ **Mayor resistencia y estabilidad:** el contenido de carbonato de calcio en las conchas marinas puede ayudar a aumentar la resistencia y estabilidad del subrasante, reduciendo potencialmente el espesor de las capas de pavimento requeridas.
- ❖ **Fuente de material sostenible:** El uso de conchas marinas trituradas como componente del subrasante puede ser una alternativa sostenible a los áridos tradicionales, ya que son un recurso natural y renovable.
- ❖ **Erosión reducida:** La presencia de conchas marinas en el subrasante puede ayudar a prevenir la erosión del suelo, contribuyendo a la estabilidad general y durabilidad de la carretera.
- ❖ **Fuente de nutrientes:** a medida que las cáscaras se descomponen con el tiempo, pueden liberar nutrientes que pueden beneficiar el suelo y la vegetación circundantes.

2.2.8.4. Propiedades de las conchas marinas

Según (Medina, 2021) las conchas marinas poseen propiedades beneficiosas para la subrasante en la construcción de carreteras, como se detallan en los siguientes puntos:

- a) **Mejora de la estabilidad:** Las conchas marinas trituradas pueden contribuir a mejorar la estabilidad de la subrasante al proporcionar una base sólida y resistente para el pavimento.
- b) **Drenaje mejorado:** La naturaleza porosa de las conchas marinas puede ayudar a mejorar las propiedades de drenaje de la subrasante, evitando la acumulación de agua y manteniendo la integridad de la estructura vial.
- c) **Aumento de la resistencia:** La presencia de carbonato de calcio en las conchas marinas puede aumentar la resistencia de la subrasante, lo que puede resultar en una mayor durabilidad y capacidad portante del suelo.
- d) **Sostenibilidad:** El uso de conchas marinas trituradas como material en la subrasante puede considerarse una práctica sostenible al reutilizar un recurso natural renovable en la construcción de carreteras.

En resumen, las conchas marinas trituradas pueden aportar beneficios significativos a la subrasante, mejorando su estabilidad, drenaje, resistencia y sostenibilidad en el contexto de la construcción de carreteras.

2.2.8.5. Uso de las conchas marinas en la construcción de subrasantes

Según la información proporcionada en los resultados de la búsqueda, existen algunas formas en que las conchas marinas trituradas se pueden utilizar en la construcción de subrasantes:

- **Estabilización de suelos:** Según los resultados, las conchas marinas trituradas pueden utilizarse para estabilizar y aumentar la capacidad portante de los suelos blandos, haciéndolos más adecuados para aplicaciones de subrasante. Las conchas, ricas en carbonato cálcico, pueden reforzar el suelo y hacerlo menos flexible.



- **Reemplazo de agregados:** La naturaleza porosa y liviana de las conchas marinas trituradas permite su uso como sustituto de los agregados tradicionales en la capa subrasante. Esto puede proporcionar beneficios en términos de mejor drenaje y reducción del peso sobre el suelo subyacente.
- **Fuente de material sostenible:** El uso de conchas marinas trituradas como componente del subrasante puede ser una alternativa más sostenible a los áridos tradicionales, ya que son un recurso natural y renovable.
- **Liberación de nutrientes:** a medida que las cáscaras trituradas se descomponen con el tiempo, pueden liberar nutrientes que pueden beneficiar el suelo y la vegetación circundantes. (Bringas & Mejia, 2019).

2.2.8.6. Beneficios que aporta la adición de conchas marinas a la subrasante

La adición de conchas marinas trituradas a la subrasante puede ofrecer varios beneficios, especialmente en términos de sostenibilidad y mejora de propiedades geotécnicas. Las conchas marinas, compuestas principalmente de carbonato de calcio (CaCO_3), pueden actuar como un estabilizador del suelo y mejorar las características físicas y mecánicas de la subrasante. A continuación, se detallan los beneficios de incorporar conchas marinas a la subrasante:

1. **Mejora de la estabilidad:** Las conchas marinas, al ser un material calcáreo, pueden reaccionar con el agua y los finos del suelo, formando compuestos cementantes que mejoran la cohesión y resistencia de la subrasante.
2. **Incremento de la capacidad de soporte:** Las conchas marinas pueden incrementar la capacidad de soporte (CBR) del suelo, permitiendo soportar mejor las cargas del tráfico.
3. **Reducción de la plasticidad:** Las conchas marinas pueden ayudar a reducir el IP del suelo, disminuyendo su susceptibilidad a cambios volumétricos por variaciones de humedad.



4. **Mejora del drenaje:** Dependiendo de la granulometría de las conchas trituradas, pueden contribuir a mejorar la permeabilidad de la subrasante, facilitando el drenaje del agua.
5. **Disponibilidad y costo:** En zonas costeras, las conchas marinas pueden ser un material de fácil acceso y a bajo costo, lo que las convierte en una alternativa interesante para estabilizar suelos de subrasante.

Sin embargo, para confirmar estos beneficios y determinar la efectividad de las conchas marinas como material estabilizante, sería necesario realizar estudios de laboratorio y pruebas de campo específicas para evaluar su desempeño en diferentes tipos de suelos y condiciones.

2.2.8.7. Impacto ambiental del uso de conchas marinas

El uso de conchas marinas en la estabilización de la subrasante y otras aplicaciones en la construcción de carreteras tiene varios impactos ambientales que deben considerarse cuidadosamente. A continuación se detallan los aspectos positivos y negativos del impacto ambiental, así como las medidas para mitigar los efectos adversos:

IMPACTOS POSITIVOS.

a) Reciclaje de materiales naturales:

El uso de conchas marinas representa una forma de reciclaje de materiales naturales que de otro modo podrían ser desechados como residuos, especialmente en áreas costeras donde la industria marisquera produce grandes cantidades de conchas desechadas.

b) Reducción de la extracción de agregados convencionales:

al utilizar conchas marinas, se reduce la necesidad de extraer agregados convencionales (como grava y arena) de canteras y ríos, lo que disminuye el impacto ambiental asociado con estas actividades.

c) Disminución de la huella de carbono:

La recolección y preparación de conchas marinas locales pueden reducir las emisiones de CO₂ asociadas con el transporte de materiales de construcción desde lugares distantes.

IMPACTOS NEGATIVOS.**• Alteración de ecosistemas marinos:**

La recolección intensiva de conchas marinas puede alterar los ecosistemas marinos, afectando la biodiversidad y la estructura de los hábitats bentónicos. Es importante asegurarse de que la recolección se realice de manera sostenible y con las regulaciones adecuadas.

• Contaminación y residuos:

Durante la limpieza y preparación de las conchas, puede generarse una cantidad significativa de residuos y aguas residuales que necesitan ser gestionadas adecuadamente para evitar la contaminación del suelo y el agua.

• Efectos a largo plazo en el suelo:

La incorporación de conchas marinas al suelo puede alterar las propiedades químicas del mismo, como el pH y la salinidad. Estos cambios pueden afectar la vegetación y otros usos del suelo a largo plazo.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN.**1. Prácticas de recolección sostenible:**

Implementar prácticas de recolección que minimicen el impacto ambiental, como limitar la cantidad de conchas recolectadas, recolectar solo de áreas con abundante suministro y evitar áreas ecológicamente sensibles.



2. Evaluaciones ambientales previas:

Realizar evaluaciones ambientales antes de iniciar la recolección y el uso de conchas marinas para identificar y mitigar posibles impactos negativos.

3. Gestión de residuos:

Implementar sistemas de gestión de residuos para los desechos generados durante la limpieza y preparación de las conchas, asegurando que los residuos se dispongan de manera segura y no contaminante.

4. Control de calidad y monitoreo:

Realizar pruebas de calidad del suelo antes y después de la aplicación de conchas marinas para monitorear cambios en las propiedades del suelo y garantizar que no se produzcan efectos adversos a largo plazo.

5. Regulaciones y permisos:

Cuando recoja y utilice conchas marinas, asegúrese de cumplir todas las leyes medioambientales aplicables, tanto nacionales como extranjeras.

6. Educación y concienciación:

Promover la educación y la concienciación sobre los beneficios y riesgos del uso de conchas marinas entre las partes interesadas, incluyendo comunidades locales, autoridades y profesionales de la construcción.

Conclusión.

El uso de conchas marinas en la estabilización de la subrasante puede ser una solución sostenible y beneficiosa si se gestionan adecuadamente los impactos ambientales. Las medidas de mitigación y las prácticas sostenibles son esenciales para minimizar los efectos negativos y maximizar los beneficios de esta técnica. Al equilibrar estos factores, es posible aprovechar las ventajas de los materiales naturales reciclados mientras se protege el medio ambiente.



2.3. Marco conceptual

2.3.1. CBR

El CBR CBR, o California Bearing Ratio, es una métrica empleada en el campo de la ingeniería geotécnica para evaluar la resistencia del suelo y su capacidad para soportar cargas. Se cuantifica en porcentaje y denota la proporción de la capacidad de carga de una muestra de suelo comparada con la de un material estándar de piedra triturada. Un valor de CBR más alto indica un suelo más fuerte y estable, mientras que un valor más bajo indica un suelo más débil y menos estable.

2.3.2. Conchas marinas

Las conchas marinas son la cubierta compuesta, mayormente de carbonato de calcio, que protege el cuerpo del molusco que la posee. Estas conchas constan de una o más piezas llamadas valvas, siendo una en caracoles, dos en almejas y ocho en quitones.

2.3.3. Índice de plasticidad

El Índice de Plasticidad (IP) es la medida cuantitativa de la diferencia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (PL) de un suelo. La plasticidad del suelo se cuantifica por el grado de variación de la humedad que hace que el suelo muestre un estado plástico. El valor del PI representa la capacidad del suelo para sufrir deformaciones sin que cambie su volumen. Un índice de permeabilidad (IP) elevado significa una mayor susceptibilidad del suelo a las fluctuaciones de los niveles de humedad, mientras que un IP bajo sugiere una menor sensibilidad del suelo a dichos cambios.

2.3.4. Óxido de calcio

El óxido de calcio (CaO), también denominado cal viva, es una sustancia química incolora o de color blanco grisáceo que se utiliza en diversos sectores industriales. El principal método de producción consiste en la descomposición térmica de piedra caliza u otras sustancias que contengan carbonato cálcico.



2.3.5. Proctor modificado

Es una prueba de laboratorio utilizada en geotecnia y mecánica de suelos para averiguar cómo afecta la cantidad de agua en el suelo a su peso unitario seco máximo. El ensayo Proctor Modificado es una prueba de laboratorio que examina cómo se compacta el suelo para averiguar si existe una relación entre la cantidad de agua en el suelo y su peso unitario seco máximo.

2.3.6. Subrasante

La subrasante se refiere a la capa de suelo subyacente que está situada debajo de la base y la subbase de un pavimento. Es una capa crucial en la construcción de carreteras, ya que soporta las cargas transmitidas por el pavimento, sirve como cimentación para la estructura vial, proporciona sustentación al pavimento y evita la contaminación del terraplén al pavimento y su absorción por las terracerías.

2.3.7. Suelo

Es la capa superior de la superficie terrestre que sirve de base a la vegetación y actúa como medio para el crecimiento de las plantas. El suelo se compone de minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Se forma por la descomposición gradual de rocas y otras sustancias durante largos periodos de tiempo. El suelo es esencial para la vida en la Tierra, ya que suministra nutrientes y agua a las plantas, sirve como depurador natural del agua y el aire y ofrece un hábitat para una gran variedad de criaturas.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de la investigación

Como afirman Creswell y Creswell (2017), el diseño es la estrategia global que dirige la recopilación y el examen de los datos en un estudio concreto. Es crucial para garantizar que los resultados obtenidos sean fiables, genuinos y capaces de aplicarse a un contexto más amplio.

La investigación propuesta será **experimental**, ya que implica la manipulación de variables. Un grupo estará formado por muestras naturales, mientras que otros grupos tendrán diferencias en la combinación, como la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas.

3.2. Método de la investigación

Según Leedy y Ormrod (2019), el método de investigación es el conjunto de procedimientos lógicos utilizados para obtener los datos necesarios para responder a las preguntas de investigación (p. 30). Este método proporciona un marco sistemático para la formulación de preguntas, la recopilación y análisis de datos, y la interpretación de resultados.



Este estudio presenta un método **científico**, ya que es caracterizado por un proceso sistemático de identificación de las circunstancias en que se producen determinados problemas. Se caracteriza por ser provisional, susceptible de ser puesta a prueba, basada en un pensamiento lógico riguroso y respaldada por pruebas empíricas.

3.3. Nivel y tipo de la investigación

3.3.1. Nivel de la investigación

Según Creswell y Creswell (2017), el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad y generalización de los hallazgos obtenidos en un estudio (p. 46). Esta clasificación permite a los investigadores determinar el enfoque metodológico más adecuado para abordar sus preguntas de investigación y alcanzar sus objetivos.

Este estudio presenta un nivel **explicativo**, mediante el examen de datos experimentales sobre los efectos de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en la mejora de las características de la subrasante.

3.3.2. Tipo de la investigación

Como señalan Hernández et al. (2014, pág. 198), la investigación aplicada se centra en la resolución de problemas prácticos y en el avance de respuestas tangibles para circunstancias específicas. Implica la utilización de información derivada de la investigación fundamental para abordar requisitos prácticos y resolver problemas tangibles.

Este estudio presenta un tipo de investigación **aplicada**, abordando específicamente un problema reconocido que requiere acción. Este estudio tiene el potencial de ofrecer nuevas perspectivas (p. 18). La subrasante se estabilizó utilizando conchas marinas trituradas y diferentes proporciones de óxido de calcio. El tipo seleccionado se utilizará para las consideraciones.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de estudio engloba a todos los componentes o personas que poseen los rasgos precisos que se investigan en un trabajo de investigación. Hernández et al. (2018) definen la población de la investigación como el conjunto de individuos de los que se seleccionará una muestra para la realización del estudio.

Para el presente estudio se tomó la población de las Vías y/o avenidas con suelos de subrasante inestables en la ciudad de Juliaca.

3.4.2. Muestra

Una muestra de investigación es un subconjunto de la población de interés que se elige para participar en un estudio concreto. Hernández et al. (2018) definen una muestra como un subconjunto más pequeño de una población que se selecciona con fines de investigación, ya que la recopilación de datos de toda la población puede ser difícil o poco práctica en muchos casos.

Para el presente estudio se tomó la muestra de la subrasante de la Avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca, con incorporación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables.

Tabla 4

Cantidad de muestra para los ensayos

Descripción	Índice de Plasticidad	Grado Compactación	CBR	Total
SN	3	3	3	9
Con incorporación				
SN + 4% OC	3	3	3	9
SN + 8% OC	3	3	3	9
SN + 12% OC	3	3	3	9
SN + 4% CM	3	3	3	9
SN + 6% CM	3	3	3	9
SN + 8% CM	3	3	3	9
Total				63

Nota: SN (Suelo Natural), OC (Óxido de Calcio) y CM (Conchas Marinas)



3.5. Técnicas e instrumentos

3.5.1. Técnicas

Las técnicas se refieren a los instrumentos y procesos específicos que se emplean de manera sistemática y rigurosa para recolectar datos durante el proceso de investigación. Según Silvestre y Huamán (2019), el empleo de procedimientos es crucial para adquirir información pertinente y fidedigna que permita abordar las indagaciones de la investigación.

Las técnicas utilizadas y desarrolladas en el presente estudios son los siguientes:

- Muestreo de material (calicatas).
- Ensayos físicos.
- Ensayos mecánicos.
- Combinación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables sobre el material de subrasante.
- Ensayo de propiedades físicas.
- Ensayo de propiedades mecánicas.

3.5.2. Instrumentos

Los instrumentos se refieren a los equipos o métodos empleados para recopilar datos a lo largo del proceso de investigación. Hernández et al. (2014, pág. 198) definen estos instrumentos como herramientas especialmente diseñadas para cuantificar, observar o documentar las variables de interés en una investigación.

En este estudio, los instrumentos utilizados y desarrollados son los siguientes:

- Fichas de control de muestreo.
- Fichas de recolección de datos de campo.
- Equipos y herramientas de laboratorio.
- Software de análisis de datos.

3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos

Específicamente con respecto a este tema en particular, nos gustaría presentarles la siguiente secuencia. La investigación ha sido desarrollada de esta manera para cumplir con los objetivos planteados:

3.6.1. Desarrollo del plan de investigación

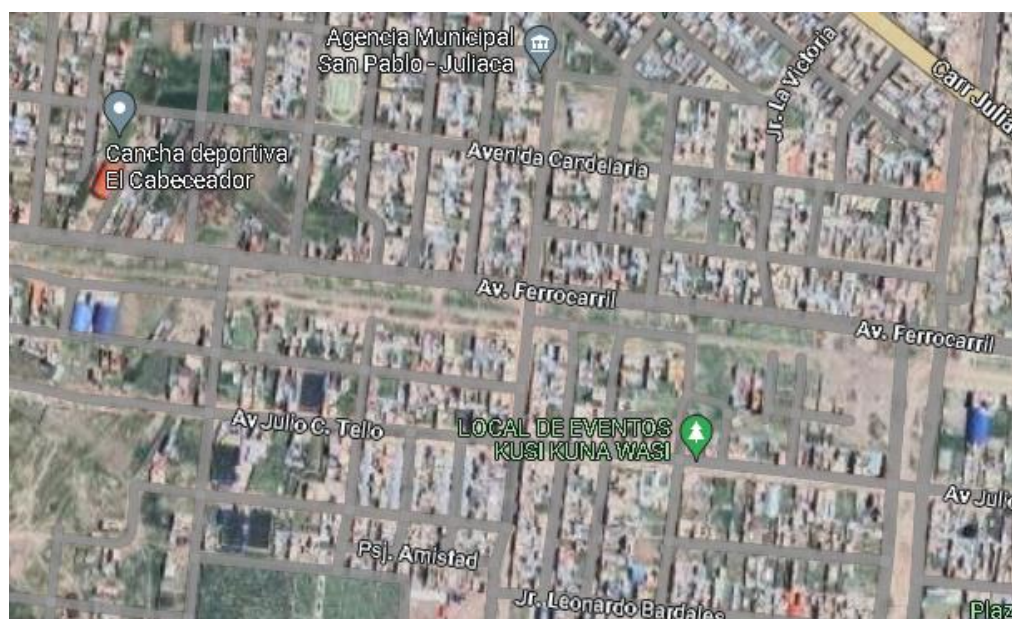
Para que esta investigación sea un éxito, Se han cumplido las condiciones mencionadas y se han ejecutado las siguientes acciones.

La lista siguiente presenta un amplio desglose de todas las fases desarrolladas:

- ✚ **Fase I: Búsqueda de información.** La primera etapa comienza con la exploración de datos relacionados con el tema de investigación, en la cual se realiza una búsqueda exhaustiva de fuentes bibliográficas, tesis, artículos, libros y normativas relevantes que serán fundamentales para llevar a cabo el presente estudio.
- ✚ **Fase II: Ubicación de la vía y los materiales.** En esta etapa se realizó tres calicatas en diferentes puntos de la vía que comprende la AV. Ferrocarril de ciudad de Juliaca.

Figura 7

Ubicación de la vía



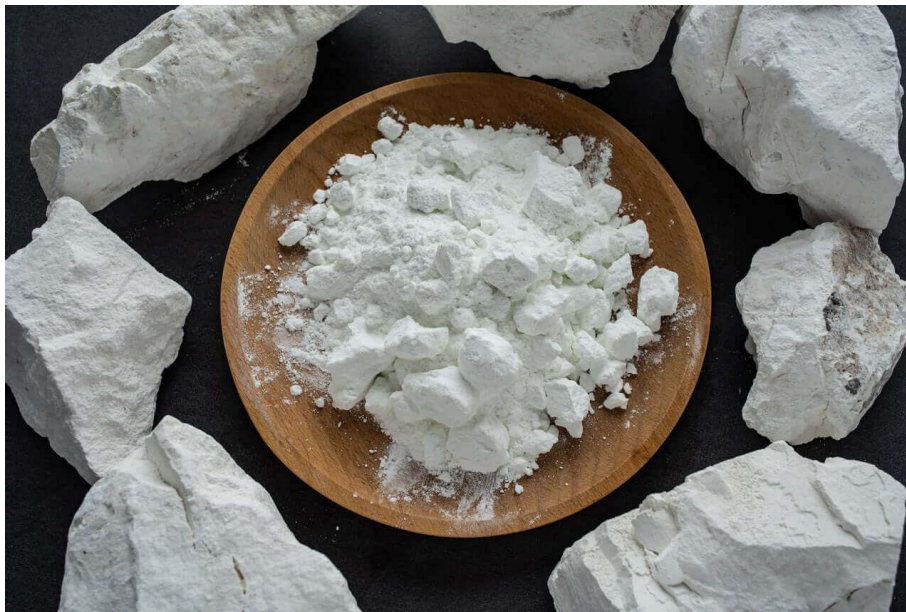
Nota: Tomado de Google Maps.

Tabla 5*Ubicación de las calicatas*

Calicata	Progresiva (km)	Profundidad (m)	Tipo
C-1	2+000 – 2+400	1.50	Saco
C-2	2+500 – 2+850	1.50	Saco
C-3	3+200 – 3+650	1.50	Saco

Nota: Los datos que se muestran fueron georreferenciados en campo

La tabla 12, presenta la ubicación de las calicatas en sus respectivas progresivas, en la cual se extrajeron muestras respectivas de suelo de subrasante para su posterior estudio.

Figura 8*Óxido de calcio*

Nota: Muestra de cal viva, tomado de Mineravi.

La figura 8, muestra el Óxido de calcio también conocido como la cal viva, que se utilizara en la estabilización del suelo en el presente estudio.

Figura 9

Conchas marinas trituradas



Nota: Conchas de mar.

La figura 9, muestra las conchas marinas y luego de su trituración, que en este caso se utilizarán en porciones como sustituto del agregado en la estabilización del suelo de una subrasante.

✚ **Fase III: Ensayos de laboratorio.** Son pruebas de laboratorio que se han realizado con las muestras obtenidas y las combinaciones con óxido de calcio y conchas trituradas son las siguientes:

❖ **CONTENIDO DE HUMEDAD:**

Es una propiedad fundamental que influye en sus características físicas y mecánicas. Dos métodos ampliamente utilizados para medir el contenido de humedad son el ASTM D-2216 y el MTC E-108. A continuación, se describe el procedimiento para realizar este ensayo según estos estándares.

Procedimiento según ASTM D-2216.

1. **Preparación de la muestra:** Se obtiene una muestra del suelo y se remueven todas las partículas gruesas y materiales orgánicos.



- 2. Secado de la muestra:** La muestra se coloca en una estufa a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y se seca hasta alcanzar un peso estable. Este proceso puede tardar varias horas y es importante registrar el tiempo de secado.
- 3. Enfriamiento y pesaje de la muestra:** Se saca del horno y se deja enfriar en un desecador. Una vez enfriada la muestra se mide con una precisión del 0,1% de su peso.
- 4. Cálculo del contenido de humedad:** El contenido de humedad se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de Humedad(\%)} = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

- W_w = peso inicial de la muestra
- W_s = peso seco de la muestra

Procedimiento según MTC E-108:

- 1. Preparación de la muestra:** Se obtiene una muestra representativa del suelo y se eliminan las partículas gruesas y materiales orgánicos.
- 2. Secado de la muestra:** La muestra se coloca en una estufa y se somete a una temperatura que oscila entre 105°C y 110°C hasta alcanzar un peso consistente. Es importante registrar el tiempo de secado y asegurarse de que la temperatura se mantenga constante.
- 3. Enfriamiento y pesaje de la muestra:** La muestra se enfría y se pesa después de secarla. Se saca del horno y se deja enfriar en un desecador. Una vez que la muestra se ha enfriado, se mide con una precisión del 0,1% de su peso.
- 4. Cálculo del contenido de humedad:** Se determina la humedad utilizando la misma fórmula que en el método ASTM D-2216.

Ambos métodos proporcionan resultados precisos y reproducibles del contenido de humedad del suelo. Es importante seguir estrictamente los procedimientos

establecidos en los estándares respectivos para garantizar la exactitud y la consistencia de los resultados obtenidos.

Figura 10

Pesado de la muestra del suelo



❖ **ENSAYO DE LÍMITE DE CONSISTENCIA:**

Es un método frecuentemente empleado para evaluar las características de plasticidad del suelo, específicamente el contenido de humedad en el que el suelo pasa de una condición semisólida a un estado plástico o líquido. ASTM D-4318, MTC E-111 y MTC E-110 son ampliamente reconocidos como estándares

establecidos para realizar esta prueba. El método para realizar esta prueba de conformidad con estos requisitos se describe a continuación:

Preparación de la muestra:

1. Se adquiere una muestra de suelo mediante los procedimientos especificados en la norma aplicable. Se eliminan las partículas gruesas y materiales orgánicos que puedan afectar los resultados del ensayo.

Método de Casagrande (ASTM D-4318):

1. Se preparan varias muestras de suelo a diferentes contenidos de humedad, generalmente comenzando desde un estado seco hasta un estado muy húmedo.
2. Se coloca una muestra de suelo en el aparato de Casagrande, una herramienta específica para este ensayo.
3. Se agita la muestra de suelo y se añade agua gradualmente hasta que la muestra se rompa en un surco de 3 mm de ancho.
4. Se registra la cantidad de agua añadida en cada paso y se calcula el contenido de humedad correspondiente para cada punto de quiebre.
5. Realice el método nuevamente en al menos dos muestras más y calcule el promedio de los hallazgos adquiridos.

Método de límite de Atterberg (MTC E-111 y MTC E-110):

1. Se preparan varias muestras de suelo con diferentes contenidos de humedad, siguiendo un rango específico de humedad que incluya el límite plástico y el límite líquido esperados.
2. Se coloca una muestra de suelo en una taza de casquillo y se moldea en forma de cono truncado.
3. Se utiliza una herramienta estándar para cortar el cono de suelo en dos mitades.

4. Se determina si el suelo se rompe en el límite plástico o el límite líquido, según la deformación observada.
5. Se registra el contenido de humedad a cada punto de quiebre y se calcula el promedio de los resultados obtenidos.

❖ ENSAYO DE INDICE DE PLASTICIDAD:

La prueba del IP se emplea para determinar la plasticidad del suelo, que se cuantifica como la disparidad entre el límite líquido y el límite plástico. La prueba se realiza de acuerdo con el proceso estándar establecido descrito en documentos como ASTM D-4318 y MTC E-111. A continuación, se describe el protocolo estándar para realizar la prueba del índice de plasticidad:

Preparación de una muestra:

1. Se obtiene una muestra representativa del suelo de acuerdo con los procedimientos establecidos en el estándar correspondiente. Se eliminan las partículas gruesas y materiales orgánicos que puedan afectar los resultados del ensayo.

Determinación del Límite Líquido (MTC E-111):

1. Se preparan varias muestras de suelo con distintos contenidos de humedad, siguiendo un rango específico de humedad.
2. Se coloca una muestra de suelo en una taza de casquillo y se moldea en forma de cono truncado.
3. Se utiliza una herramienta estándar para cortar el cono de suelo en dos mitades.
4. Se determina el límite líquido observando el número de golpes necesarios para que el suelo se cierre a lo largo de un surco de 12 mm de longitud.
5. Se registra el contenido de humedad correspondiente al límite líquido para cada muestra.



Cálculo:

$$LL = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Determinación del Límite Plástico (ASMT D-4318):

1. Se toma una muestra de suelo y se mezcla con agua para formar una pasta homogénea.
2. Se coloca la pasta de suelo en un aparato de Casagrande y se moldea en forma de bola.
3. Se hace el ensayo de límite plástico siguiendo el método de Casagrande, tal como se describe en el procedimiento del límite plástico.
4. Se registra la humedad correspondiente al límite plástico para cada muestra.

Cálculo:

$$LP = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Cálculo del Índice de Plasticidad:

1. El índice de plasticidad se determina restando el límite plástico del límite líquido:

$$IP = LL - LP$$

2. Se repite el cálculo para todas las muestras y se calcula el promedio de los resultados obtenidos.

Figura 11

Plasticidad del suelo



❖ **ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:**

Se puede determinar la distribución granulométrica de las muestras de suelo mediante la prueba de análisis granulométrico. La prueba se realiza de acuerdo con protocolos reconocidos descritos en normas como ASTM D422 y MTC E-123. El siguiente texto describe el protocolo estándar para realizar la prueba de análisis del tamaño de partículas:

Preparación de la muestra:

1. Se toma una muestra de suelo siguiendo los procedimientos descritos en la norma aplicable. Se selecciona una cantidad suficiente de muestra para realizar el ensayo.



Tamizado (Método del tamizado):

1. Se seleccionan una serie de tamices de diferentes aberturas de malla, que cubren un rango de tamaños de partículas apropiado para el suelo en estudio.
2. Se pesa cada tamiz vacío y se registra su peso.
3. La muestra de suelo se coloca en el tamiz superior de la serie y luego se cubre.
4. El conjunto de tamiz se somete a agitación mecánica o humana durante un período predeterminado para separar las partículas según su tamaño.
5. Se extraen los tamices del conjunto y se mide el peso del material restante en cada tamiz.
6. Para hallar el porcentaje de material que permanece en cada tamiz, divida el peso del material que permanece en cada tamiz por el peso total de la muestra y, a continuación, aumente el resultado por 100.

Sedimentación (Método del hidrómetro)

1. Se crea una suspensión suelo-agua utilizando una relación agua-suelo adecuada para el suelo específico que se está investigando.
2. Se vierte la suspensión en un cilindro de sedimentación y se permite que las partículas se asienten durante un tiempo determinado.
3. Se mide la altura de la suspensión sobre el fondo del cilindro en intervalos de tiempo regulares.
4. Se determina la densidad de las partículas en suspensión utilizando un hidrómetro.
5. La distribución granulométrica se determina a partir de la curva de sedimentación obtenida.

Análisis de resultados:

1. Se utiliza la información recopilada durante el ensayo para determinar la distribución granulométrica del suelo.

2. Se traza una curva granulométrica utilizando los porcentajes de material retenido en cada tamiz o la curva de sedimentación obtenida.
3. Se determinan los parámetros granulométricos, como el diámetro efectivo, la uniformidad y la curva de distribución granulométrica.

Figura 12*Ensayo de análisis granulométrico***❖ ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO:**

Es un método comúnmente utilizado para evaluar las características de compactación del suelo, proporcionando información valiosa para el diseño y construcción de carreteras, cimientos, terraplenes y otras estructuras. Los protocolos para realizar esta prueba están estandarizados por organizaciones acreditadas como ASTM International y el (MTC). El siguiente texto describe la técnica estándar para realizar la prueba Proctor Modificada según las pautas proporcionadas por ASTM D-1557 y MTC E-115:



Preparación de la muestra:

1. Se selecciona una muestra representativa de suelo, libre de materiales gruesos y orgánicos, que se considere representativa del área de interés.
2. La muestra se mezcla con agua para alcanzar una humedad inicial aproximada a la óptima, la cual se determina previamente mediante ensayos preliminares.

Moldeo de las probetas:

1. Se preparan una o más probetas cilíndricas de suelo compactado de dimensiones conocidas (generalmente 4 pulg de diámetro y 6 pulg de altura), utilizando una muestra de suelo a la humedad inicial establecida.
2. La muestra se coloca en porciones uniformes en el molde, cada una con una altura predeterminada. Cada capa se compacta con un pisón manual o mecánico, aplicando un número específico de golpes.

Determinación de la humedad óptima y la densidad máxima seca:

1. Se repite el procedimiento de compactación para una serie de muestras con diferentes contenidos de humedad.
2. Para cada muestra, se calcula la densidad seca y se grafica en una curva de compactación.
3. Determine el contenido de humedad que da como resultado la densidad seca más alta, conocida como OCH, y documente la MDS correspondiente.

Análisis de resultados:

1. Se utiliza la curva de compactación para determinar la OCH y la MDS del suelo.
2. Estos parámetros se utilizan para especificar las condiciones óptimas de compactación del suelo en el campo.

Figura 13*Ensayo de Proctor modificado***❖ ENSAYO DE CBR:**

La prueba CBR es un método convencional empleado para evaluar la resistencia al corte de un suelo compactado. Esta prueba es esencial en ingeniería de pavimentos para evaluar la capacidad de carga relativa del suelo. Los protocolos para realizar esta prueba están estandarizados por organizaciones acreditadas como ASTM International y el (MTC). El siguiente texto proporciona una explicación integral del proceso paso a paso para realizar la prueba CBR de acuerdo con ASTM D-1883 y MTC E-132:

Preparación de la muestra:



1. Se elige una muestra de suelo basándose en los procesos especificados en la norma aplicable. La muestra debe ser libre de materiales gruesos y orgánicos.
2. La muestra se mezcla con agua para alcanzar una humedad aproximada a la óptima para compactación.

Compactación de la muestra:

1. Se preparan varias probetas cilíndricas compactadas de suelo con una altura y diámetro especificados por el estándar.
2. La muestra se coloca en el molde de compactación en capas uniformes, cada una con una altura predeterminada. Cada capa se compacta con un pisón manual o mecánico, aplicando un número específico de golpes.
3. Se mide la densidad seca de cada probeta compactada utilizando un dispositivo de densidad seca.

Preparación de la muestra para el ensayo de CBR:

1. Se preparan dos o más muestras cilíndricas de suelo compactado para el ensayo de CBR.
2. Se recortan las muestras a una altura específica y se colocan en el molde de ensayo de CBR, asegurándose de que estén centradas y niveladas.

Ensayo de penetración del pistón:

1. Se coloca un pistón penetrómetro encima de la muestra y se ejerce una carga vertical inicial.
2. Se registra la penetración del pistón en la muestra bajo esta carga inicial.
3. Se ejerce una carga adicional al pistón a una velocidad de penetración constante.
4. Se registra la penetración del pistón bajo la carga adicional en intervalos de tiempo regulares.



5. Se detiene el ensayo cuando se alcanza un cierto nivel de deformación especificado por el estándar, o cuando se alcanza una carga máxima predeterminada.

Análisis de resultados:

1. Se registra el valor del CBR obtenido para cada muestra.
2. Se promedian los valores de CBR obtenidos de las distintas muestras.
3. Se utilizan estos resultados para evaluar la capacidad de soporte relativa del suelo y para diseñar estructuras de pavimentos.

3.6.2. Procesamiento y análisis de datos

Se utilizarán tablas para mostrar los datos, que luego se analizarán utilizando herramientas matemáticas y gráficas para mejorar la comprensión y la interpretación. El objetivo de estos procesos es obtener resultados fiables mediante exámenes y emplear métodos fiables para facilitar la comprensión de las conclusiones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados obtenidos

En el presente capítulo se mostrarán los resultados sobre los análisis del suelo natural, asimismo se empleará el Óxido de calcio y Conchas marinas trituradas, en proporciones variables para la estabilización del suelo.

4.1.1. Resultados de las propiedades físicas y mecánicas del estrato de subrasante

Las propiedades del estrato de se presentan de la siguiente manera:

A. Contenido de humedad:

Este ensayo se utilizó para hallar la cantidad de humedad presente en una muestra de suelo:

Tabla 6

Humedad en los especímenes de las calicatas

Contenido de humedad (%)	
Calicata	Humedad (%)
C-01	12.68
C-02	15.20
C-03	16.24
Promedio	14.71

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

En la tabla 13, presenta el contenido de humedad de cada espécimen extraído del suelo subrasante, con un valor promedio de 14.71%.

B. Análisis granulométrico:

Tabla 7

Análisis granulométrico de las calicatas

Granulometría – Suelo de subrasante			
Tamices	% pasante		
	C - 01	C - 02	C - 03
1/2"	-	-	-
3/8"	96.00	96.00	96.00
N° 4	92.07	92.03	92.10
N° 10	88.18	88.11	88.28
N° 20	84.41	84.28	84.55
N° 40	80.88	80.51	80.92
N° 50	77.47	76.83	77.39
N° 100	74.34	73.31	74.00
N° 200	71.23	69.83	70.65

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

La tabla 14, presenta la gradación de los materiales se observa claramente, habiendo sido determinada por el tamizado de las muestras, que abarca desde el tamiz de 3/8" hasta el tamiz número 200. Esto indica una gama de tamaños de partículas desde más gruesas a más finas, lo cual es importante para entender las propiedades mecánicas del suelo de subrasante.

C. Índice de plasticidad:

Este valor significa la diferencia entre el LL y el LP. Los datos siguientes presentan los valores medios derivados de los ensayos realizados:

Tabla 8*ÍP del suelo natural*

Límites de Atterberg – Suelo de subrasante			
Calicata	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-01	33.54	17.10	16.44
C-02	32.55	16.63	15.92
C-03	30.77	16.04	14.73
Promedio	-	-	15.70

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

La tabla 15, presenta los resultados de las pruebas muestran un índice plástico promedio del 15.70%, donde nos indica que el suelo es de plasticidad media.

D. Grado de compactación:

Se determina por la densidad seca máxima alcanzada por la muestra cuando se encuentra en su nivel óptimo de humedad:

Tabla 9*Grado de compactación de las muestras*

Grado de Compactación – Suelo de Subrasante		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
C-1	1.717	20.95
C-2	1.726	17.10
C-3	1.750	16.11
Promedio	1.731	18.05

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

La tabla 16, presenta los valores promedio de la máxima densidad seca y la humedad óptima de las muestras muestran una media de 1.731 gr/cc para la MDS y 18.05% para OCH.

E. Capacidad de soporte CBR:

La siguiente tabla muestra los resultados de CBR al 95% de la MDS (densidad seca máxima) de los suelos de subrasante naturales:

Tabla 10

Capacidad de soporte CBR de las muestras

CBR – Especímenes de Subrasante		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
C-01	4.19	2.61
C-02	4.32	3.65
C-03	4.25	3.44
Promedio	4.25	3.23

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

La tabla 17, presenta los resultados medios de las pruebas de CBR al 100% (MDS) arrojaron un valor del 4.18%, mientras que para el CBR al 95% (MDS) se obtuvo un promedio de 2.72% en las muestras analizadas.

4.1.2. Resultados sobre la aplicación de óxido de calcio y Conchas marinas en proporciones variables en el índice de plasticidad del estrato de subrasante

4.1.2.1. Índice de plasticidad del suelo natural con la adición de óxido de calcio

a) Índice de plasticidad de SN + 4% OC

Tabla 11

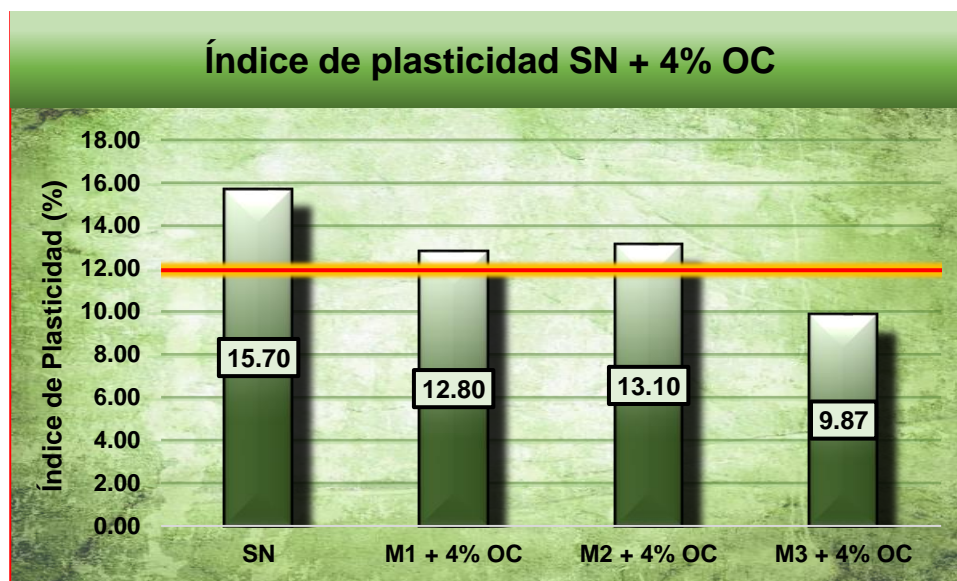
Índice de plasticidad SN + 4% OC

IP – SN + 4% Óxido de calcio		
Adición	IP (%)	Promedio (%)
SN	15.70%	-
M1 + 4% OC	12.80%	
M2 + 4% OC	13.10%	11.92%
M3 + 4% OC	9.87%	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 14

Índice de plasticidad SN + 4% OC



La figura 10, muestra los resultados del IP del SN de la subrasante con la incorporación del óxido de calcio, donde se ve una caída en el índice plasticidad con la inclusión de 4% de óxido de calcio.

b) Índice de plasticidad de SN + 8% OC

Tabla 12

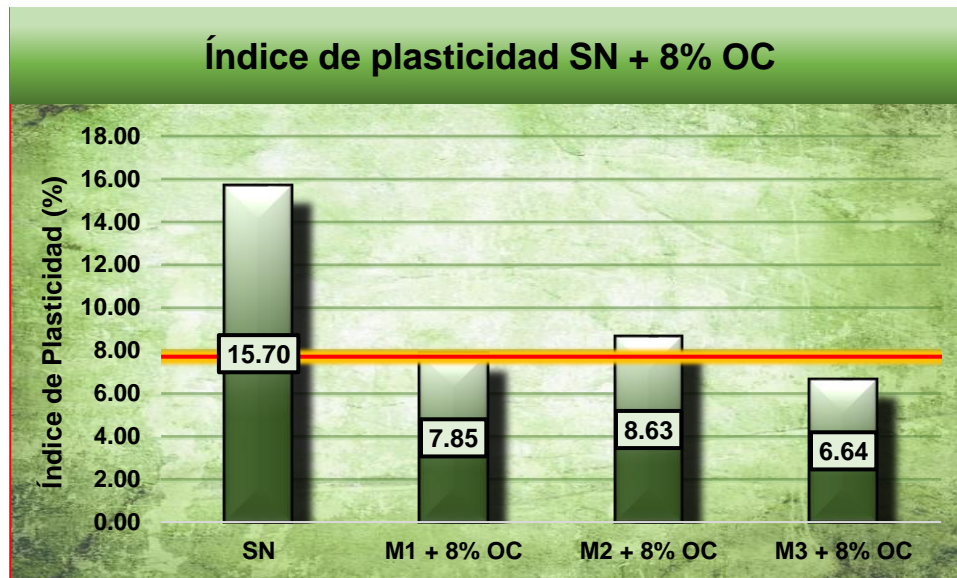
Índice de plasticidad SN + 8% OC

IP – SN + 8% Óxido de calcio		
Adición	IP (%)	Promedio (%)
SN	15.70%	-
M1 + 8% OC	7.85%	
M2 + 8% OC	8.63%	7.71%
M3 + 8% OC	6.64%	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 15

Índice de plasticidad SN + 8% OC



La figura 11, muestra los resultados del IP del SN de la subrasante con la incorporación del óxido de calcio, donde se ve una caída en el índice plasticidad con la inclusión de 8% de óxido de calcio.

c) Índice de plasticidad de SN + 12% OC

Tabla 13

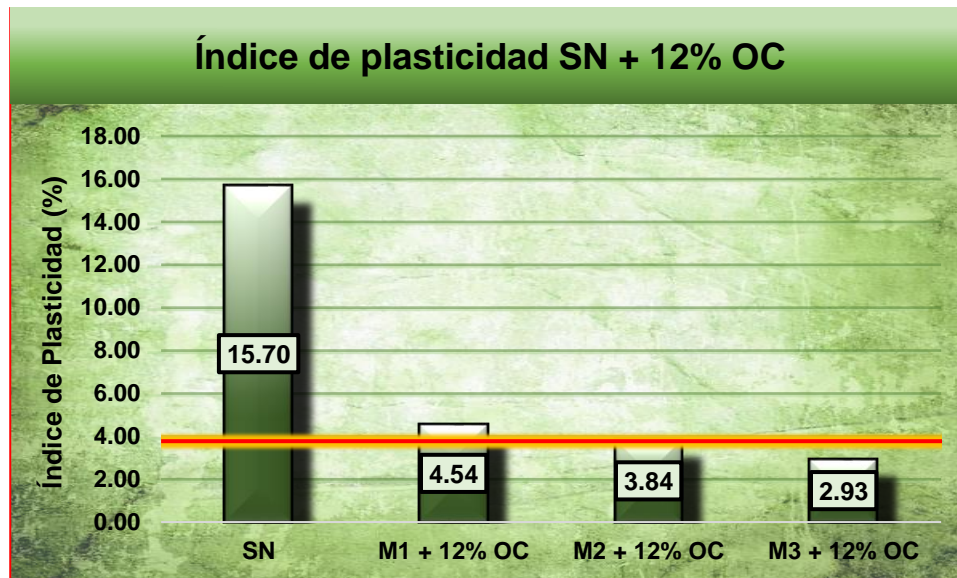
Índice de plasticidad SN + 12% OC

IP – SN + 12% Óxido de calcio		
Adición	IP (%)	Promedio (%)
SN	15.70%	-
M1 + 12% OC	4.54%	
M2 + 12% OC	3.84%	3.77%
M3 + 12% OC	2.93%	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 16

Índice de plasticidad SN + 12% OC



La figura 12, muestra los resultados del IP del SN de la subrasante con la incorporación de óxido de calcio, donde se ve una caída en el índice plasticidad con la inclusión de 12% de óxido de calcio.

4.1.2.2. Índice de plasticidad del suelo natural con la adición de conchas marinas

a) Índice de plasticidad de SN + 4% CM

Tabla 14

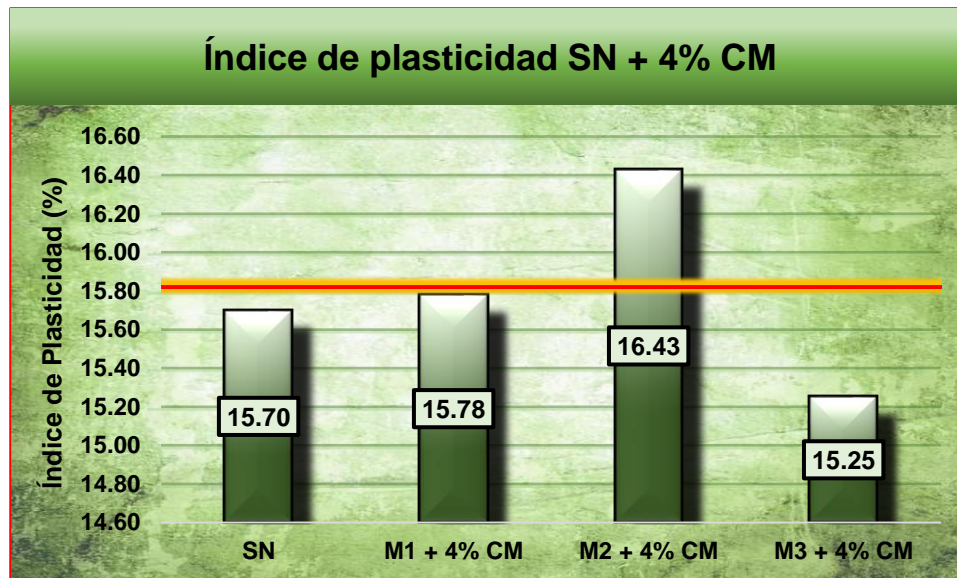
Índice de plasticidad SN + 4% CM

Índice de plasticidad – SN + 4% Conchas marinas		
Adición	IP (%)	Promedio (%)
SN	15.70%	-
M1 + 4% CM	15.78%	
M2 + 4% CM	16.43%	15.82%
M3 + 4% CM	15.25%	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 17

Índice de plasticidad SN + 4% CM



La figura 13, muestra los resultados del IP del SN de la subrasante con la inclusión de conchas marinas trituradas, donde se ve una reducción del IP con la inclusión de 4% de conchas marinas trituradas.

b) Índice de plasticidad de SN + 6% CM

Tabla 15

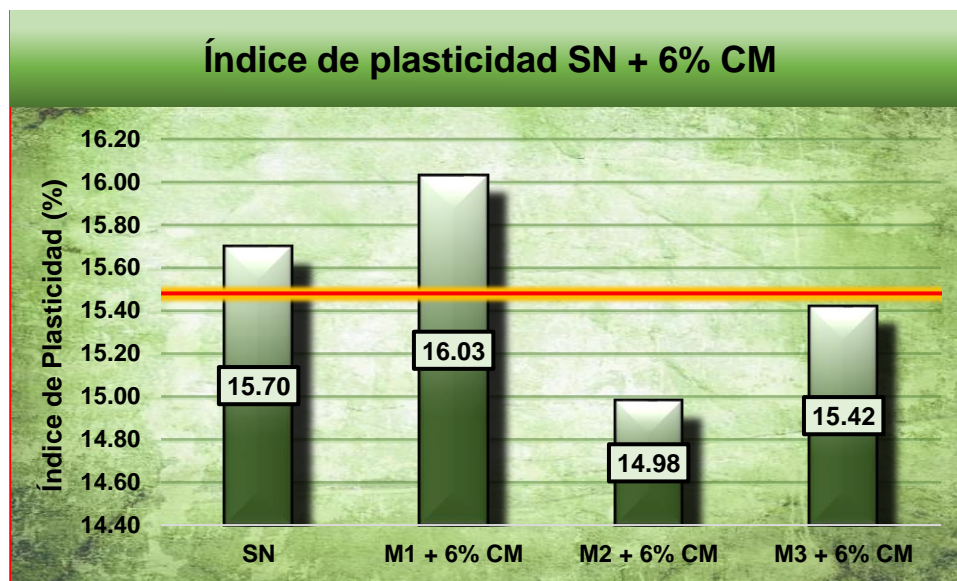
Índice de plasticidad SN + 6% CM

Índice de plasticidad – SN + 6% Conchas marinas		
Adición	IP (%)	Promedio (%)
SN	15.70%	-
M1 + 6% CM	16.03%	
M2 + 6% CM	14.98%	15.48%
M3 + 6% CM	15.42%	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 18

Índice de plasticidad SN + 6% CM



La figura 14, muestra los resultados del IP del SN de la subrasante con la inclusión de conchas marinas trituradas, donde se ve una reducción del IP con la inclusión de 6% de conchas marinas trituradas.

c) Índice de plasticidad de SN + 8% CM

Tabla 16

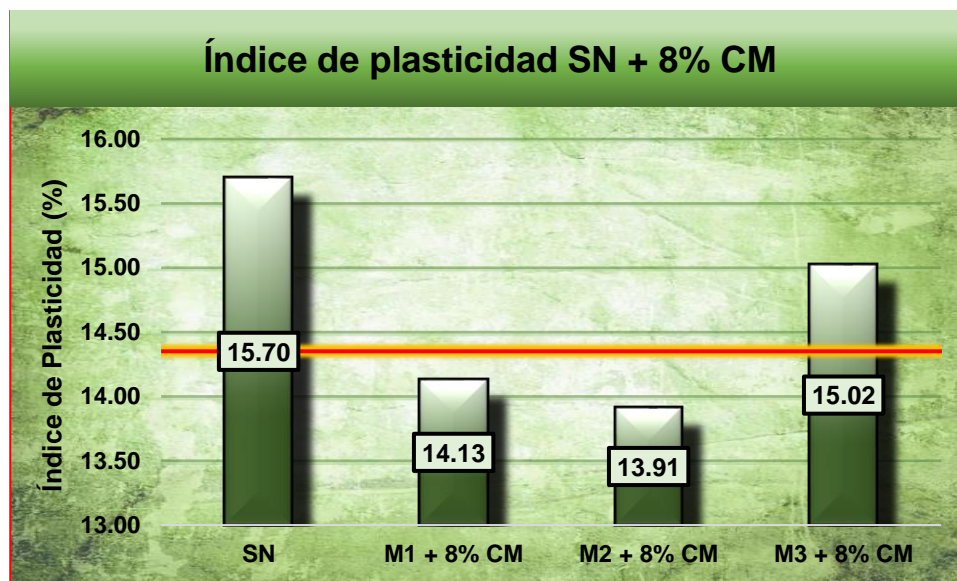
Índice de plasticidad SN + 8% CM

Índice de plasticidad – SN + 8% Conchas marinas		
Adición	IP (%)	Promedio (%)
SN	15.70%	-
M1 + 8% CM	14.13%	
M2 + 8% CM	13.91%	14.35%
M3 + 8% CM	15.02%	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 19

Índice de plasticidad SN + 8% CM



La figura 15, muestra los resultados del IP del SN de la subrasante con la inclusión de conchas marinas trituradas, donde se ve una reducción del IP con la inclusión de 8% de conchas marinas trituradas.

4.1.3. Resultados de la aplicación de Óxido de calcio y Conchas marinas en proporciones variables en el grado de compactación del estrato de subrasante

4.1.3.1. Grado de compactación del suelo natural con la adición de óxido de calcio

a) Grado de compactación de SN + 4% OC

Tabla 17

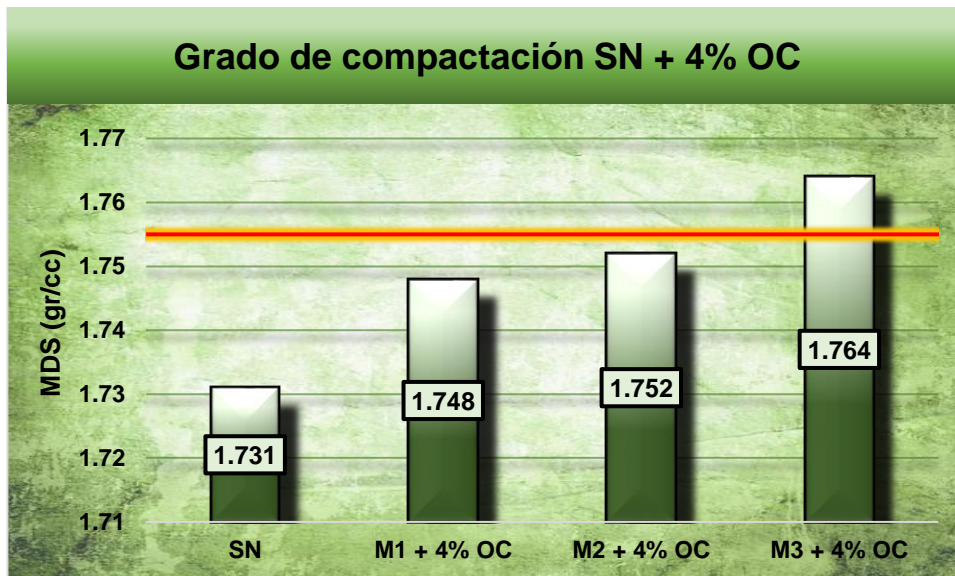
Grado de compactación SN + 4% OC

GC – SN + 4% Óxido de calcio		
Adición	MDS (gr/cc)	Promedio (gr/cc)
SN	1.731gr/cc	-
M1 + 4% OC	1.748gr/cc	
M2 + 4% OC	1.752gr/cc	1.755gr/cc
M3 + 4% OC	1.764gr/cc	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 20

Grado de compactación SN + 4% OC



La figura 16, muestra los resultados del GC del SN de la subrasante con la incorporación de óxido de calcio, donde se aprecia un aumento del GC con la aplicación del 4% de óxido de calcio.

b) Grado de compactación de SN + 8% OC

Tabla 18

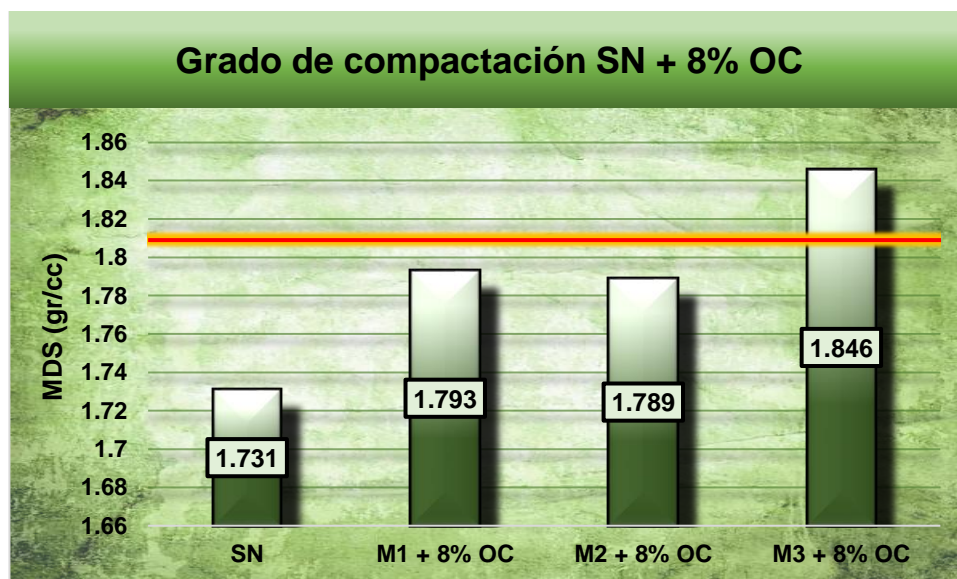
Grado de compactación SN + 8% OC

GC – SN + 8% Óxido de calcio		
Adición	MDS (gr/cc)	Promedio (gr/cc)
SN	1.731gr/cc	-
M1 + 8% OC	1.793gr/cc	
M2 + 8% OC	1.789gr/cc	1.809gr/cc
M3 + 8% OC	1.846gr/cc	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 21

Grado de compactación SN + 8% OC



La figura 17, muestra los resultados del GC del SN de la subrasante con la incorporación de óxido de calcio, donde se aprecia un aumento del GC con la inclusión del 8% de óxido de calcio.

c) Grado de compactación de SN + 12% OC

Tabla 19

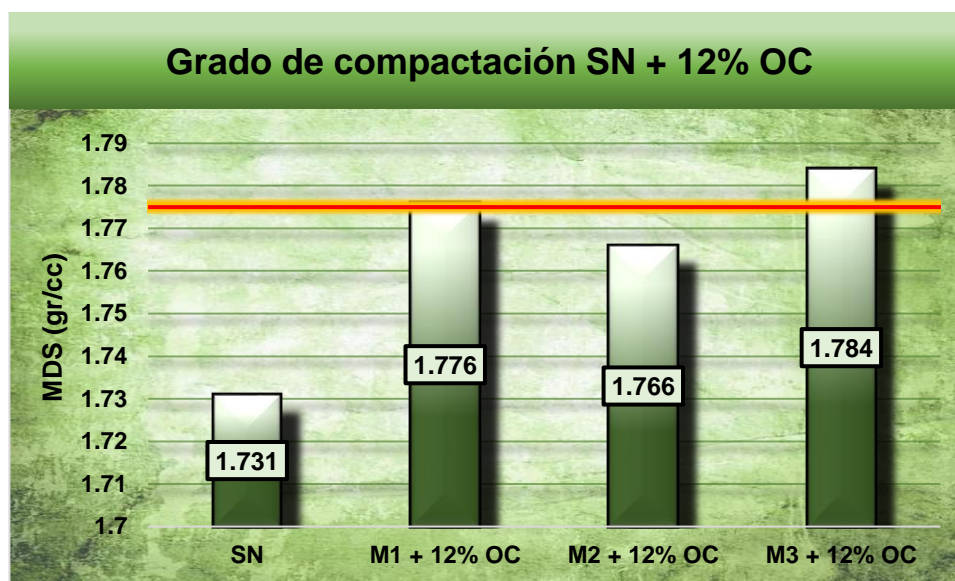
Grado de compactación SN + 12% OC

GC – SN + 12% Óxido de calcio		
Adición	MDS (gr/cc)	Promedio (gr/cc)
SN	1.731gr/cc	-
M1 + 12% OC	1.776gr/cc	
M2 + 12% OC	1.766gr/cc	1.775gr/cc
M3 + 12% OC	1.784gr/cc	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 22

Grado de compactación SN + 12% OC



La figura 18, muestra los resultados del GC del SN de la subrasante con la incorporación de óxido de calcio, donde se aprecia un aumento del GC con la inclusión del 12% de óxido de calcio.

4.1.3.1. Grado de compactación del suelo natural con la adición de conchas marinas

a) Grado de compactación de SN + 4% CM

Tabla 20

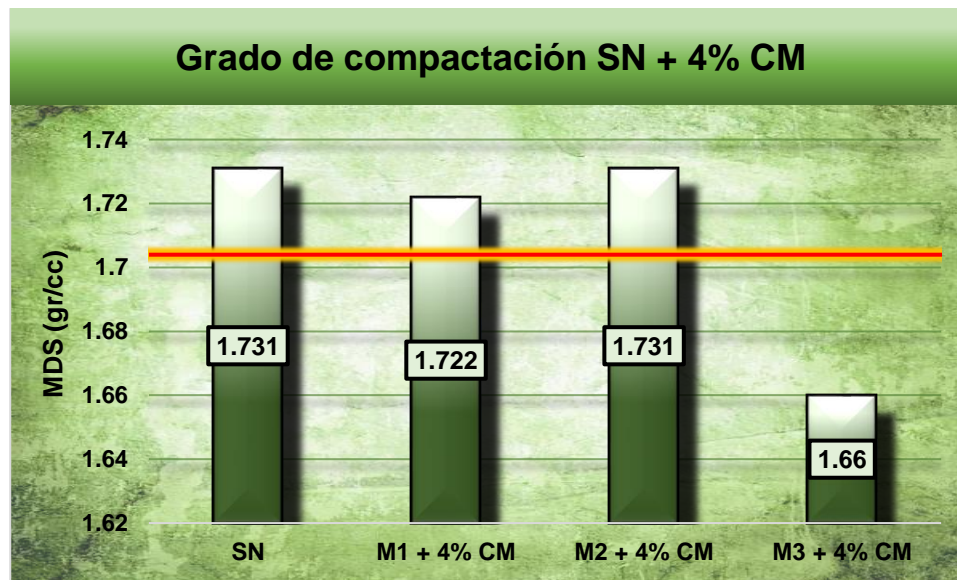
Grado de compactación SN + 4% CM

Grado de compactación – SN + 4% Conchas marinas		
Adición	MDS (gr/cc)	Promedio (gr/cc)
SN	1.731gr/cc	-
M1 + 4% CM	1.722gr/cc	
M2 + 4% CM	1.731gr/cc	1.704gr/cc
M3 + 4% CM	1.660gr/cc	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 23

Grado de compactación SN + 4% CM



La figura 19, muestra los resultados del GC del SN de la subrasante con la incorporación de conchas marinas trituradas, donde se aprecia un aumento del GC con la aplicación del 4% de conchas marinas trituradas.

b) Grado de compactación de SN + 6% CM

Tabla 21

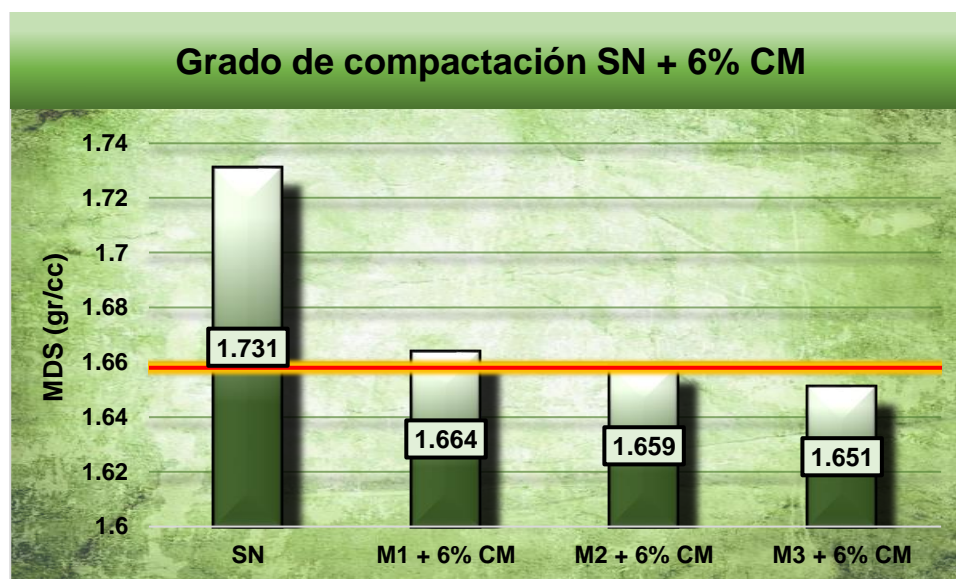
Grado de compactación SN + 6% CM

Grado de compactación – SN + 6% Conchas marinas		
Adición	MDS (gr/cc)	Promedio (gr/cc)
SN	1.731gr/cc	-
M1 + 6% CM	1.664gr/cc	
M2 + 6% CM	1.659gr/cc	1.658gr/cc
M3 + 6% CM	1.651gr/cc	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 24

Grado de compactación SN + 6% CM



La figura 20, muestra los resultados del GC del SN de la subrasante con la incorporación de conchas marinas trituradas, donde se aprecia un incremento del GC con la aplicación del 6% de conchas marinas trituradas.

c) Grado de compactación de SN + 8% CM

Tabla 22

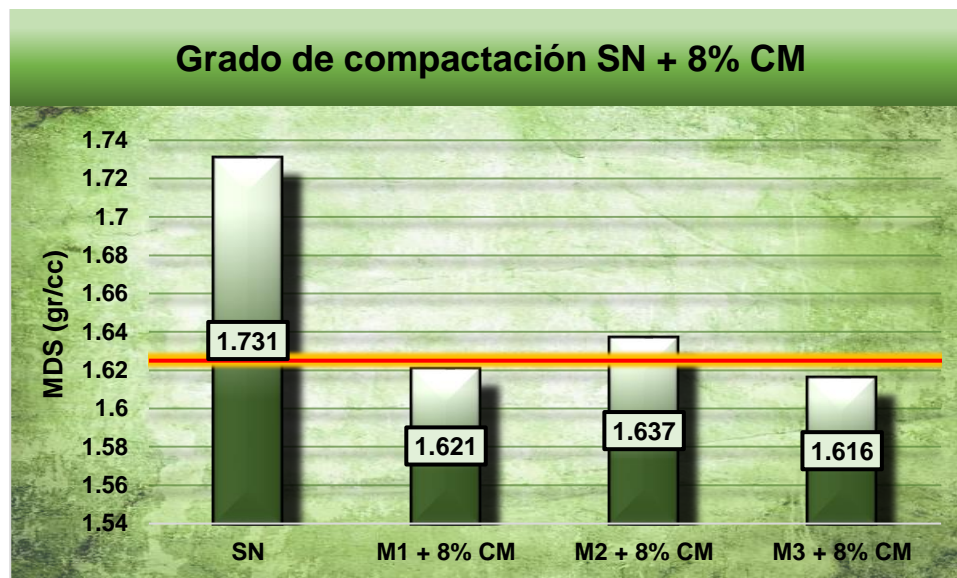
Grado de compactación SN + 8% CM

Grado de compactación – SN + 8% Conchas marinas		
Adición	MDS (gr/cc)	Promedio (gr/cc)
SN	1.731gr/cc	-
M1 + 8% CM	1.621gr/cc	
M2 + 8% CM	1.637gr/cc	1.625gr/cc
M3 + 8% CM	1.616gr/cc	

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 25

Grado de compactación SN + 8% CM



La figura 21, muestra los resultados del GC del SN de la subrasante con la incorporación de conchas marinas trituradas, donde se aprecia un incremento del GC con la aplicación del 8% de conchas marinas trituradas.

4.1.4. Resultados de la aplicación de Óxido de calcio y Cochas marinas en proporciones variables en la capacidad de soporte CBR del estrato de subrasante

4.1.4.1. Ensayo de CBR del Suelo natural + Óxido de calcio

a) Ensayo de CBR del SN + 4% OC

Tabla 23

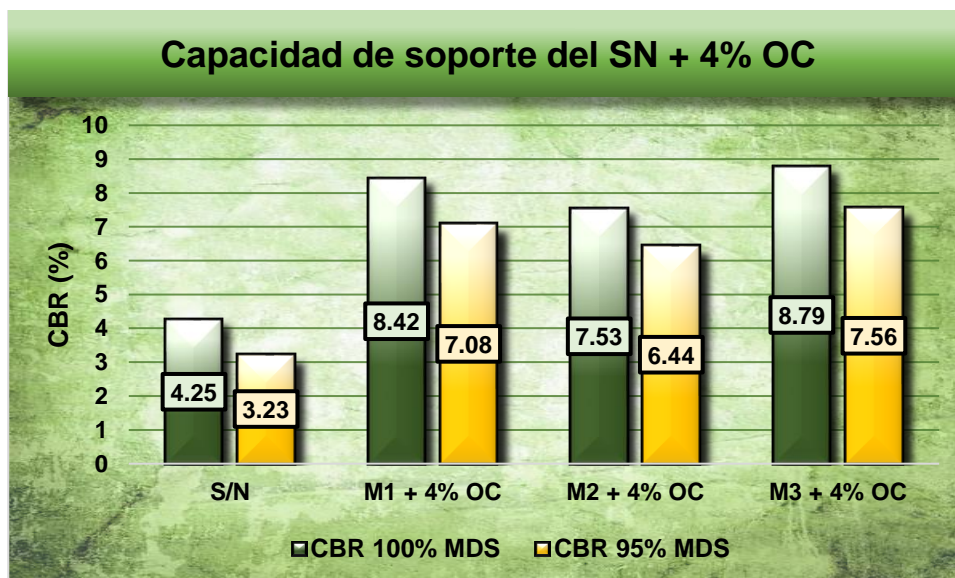
CBR del SN + 4% OC

CBR del SN + 4% Óxido de calcio		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	4.25	3.23
M1 + 4% OC	8.42	7.08
M2 + 4% OC	7.53	6.44
M3 + 4% OC	8.79	7.56
Promedio	8.25	7.03

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 26

CBR del SN + 4% OC



La figura 22, muestra los resultados del CBR de SN de la subrasante con la incorporación del óxido de calcio, donde se aprecia un aumento de la capacidad de soporte CBR de 7.03% al 95% de la MDS.

b) Ensayo de CBR del SN + 8% OC

Tabla 24

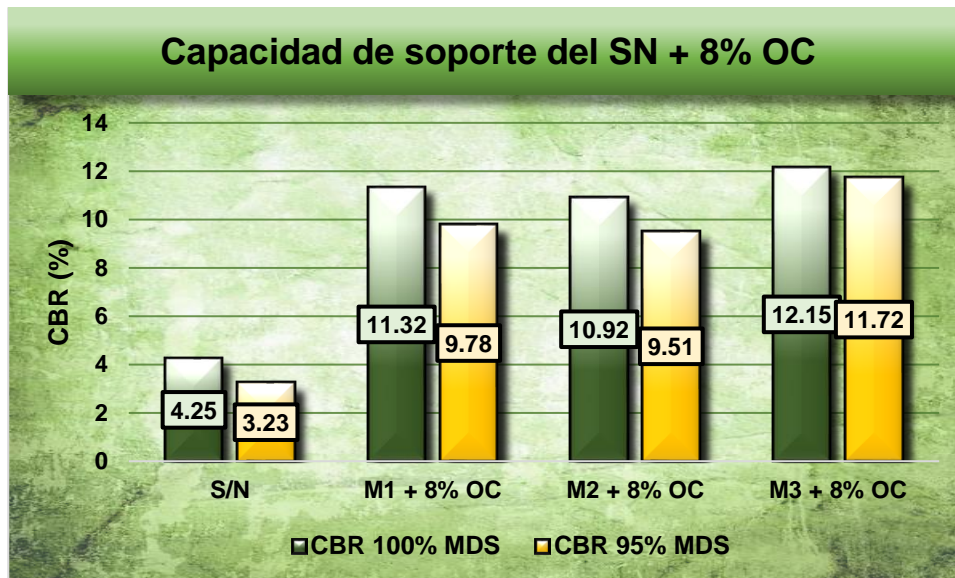
CBR del SN + 8% OC

CBR del SN + 8% Óxido de calcio		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	4.25	3.23
M1 + 8% OC	11.32	9.78
M2 + 8% OC	10.92	9.51
M3 + 8% OC	12.15	11.72
Promedio	11.46	10.34

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 27

CBR del SN + 8% OC



La figura 23, muestra el CBR del SN de la subrasante con la inclusión de óxido de calcio, donde se aprecia un aumento de la capacidad de soporte CBR de 10.34% al 95% de la MDS.

c) Ensayo de CBR del SN + 12% OC

Tabla 25

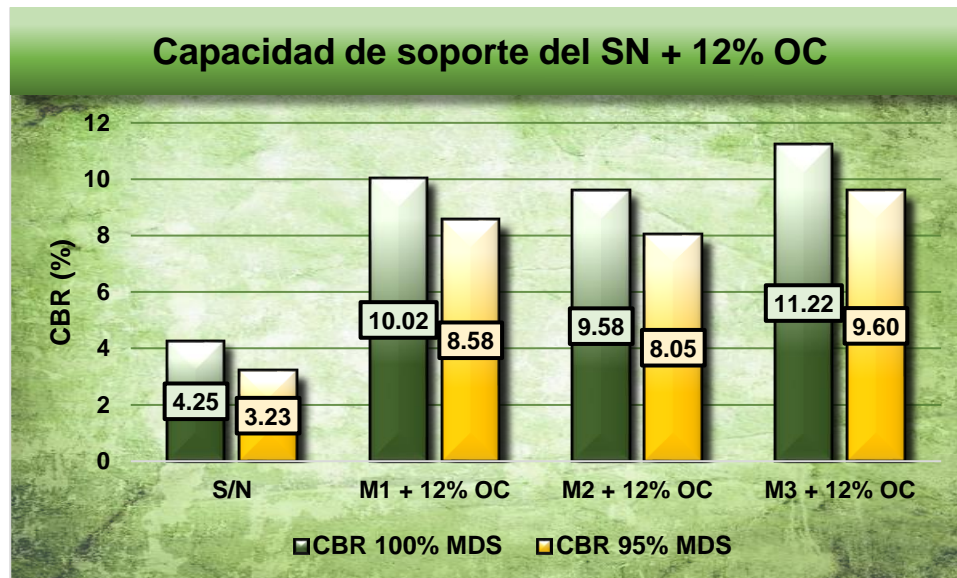
CBR del SN + 12% OC

Calicata	CBR del SN + 12% Óxido de calcio	
	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	4.25	3.23
M1 + 12% OC	10.02	8.58
M2 + 12% OC	9.58	8.05
M3 + 12% OC	11.22	9.60
Promedio	10.27	8.74

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 28

CBR del SN + 12% OC



La figura 24, muestra el CBR del SN de la subrasante con la inclusión de óxido de calcio, donde se aprecia un aumento de la capacidad de soporte CBR de 8.74% al 95% de la MDS.

4.1.4.2. Ensayo de CBR del Suelo natural + Conchas marinas

a) Ensayo de CBR del SN + 4% CM

Tabla 26

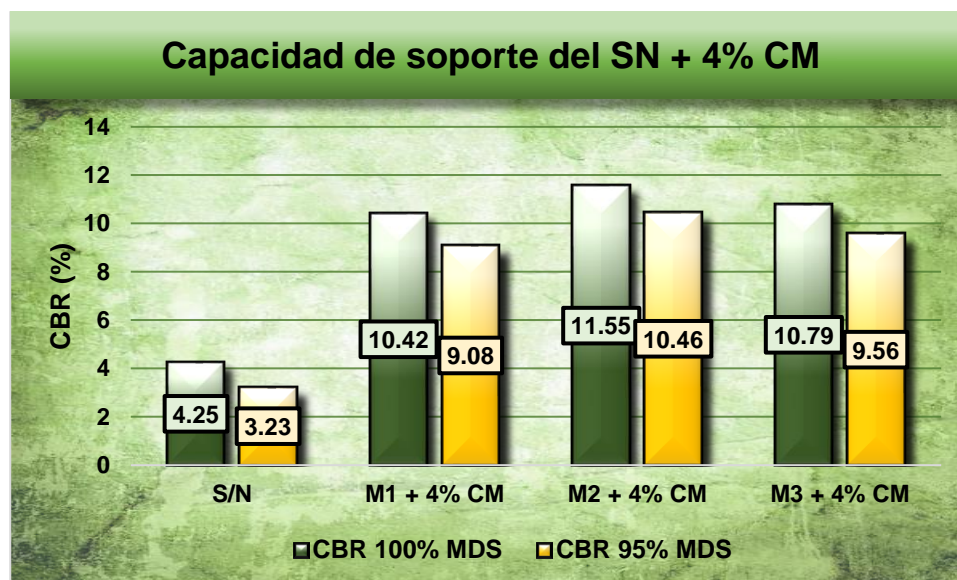
CBR del SN + 4% CM

CBR del SN + 4% Conchas marinas		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	4.25	3.23
M1 + 4% CM	10.42	9.08
M2 + 4% CM	11.55	10.46
M3 + 4% CM	10.79	9.56
Promedio	10.92	9.70

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 29

CBR del SN + 4% CM



La figura 25, muestra el CBR del SN de la subrasante con la inclusión de conchas marinas, donde se aprecia un aumento de la capacidad de soporte CBR de 9.70% al 95% de la MDS.

b) Ensayo de CBR del SN + 6% CM

Tabla 27

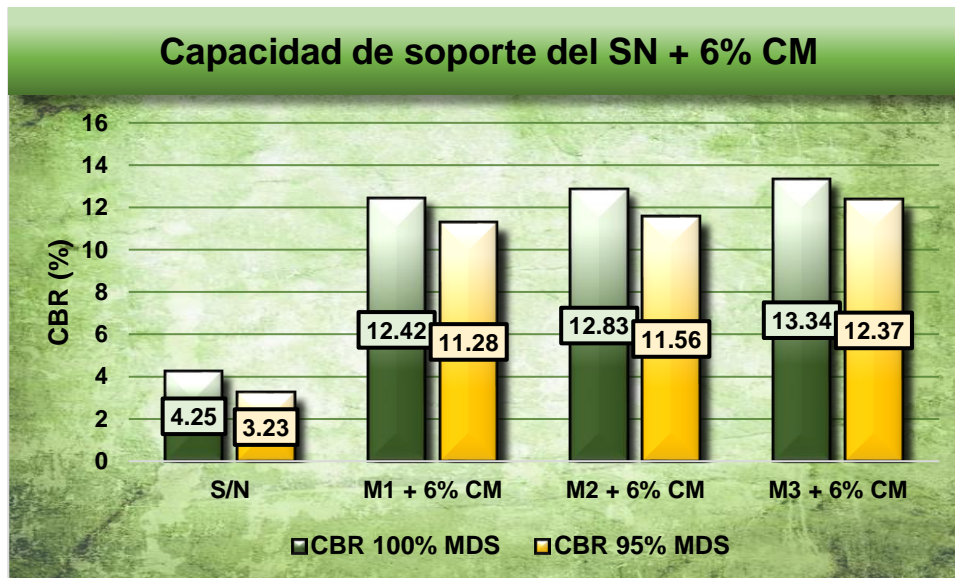
CBR del SN + 6% CM

CBR del SN + 6% Conchas marinas		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	4.25	3.23
M1 + 6% CM	12.42	11.28
M2 + 6% CM	12.83	11.56
M3 + 6% CM	13.34	11.72
Promedio	12.86	11.74

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 30

CBR del SN + 6% CM



La figura 26, muestra el CBR del SN de la subrasante con la inclusión de conchas marinas, donde se aprecia un aumento de la capacidad de soporte CBR de 11.74% al 95% de la MDS.

c) Ensayo de CBR del SN + 8% CM

Tabla 28

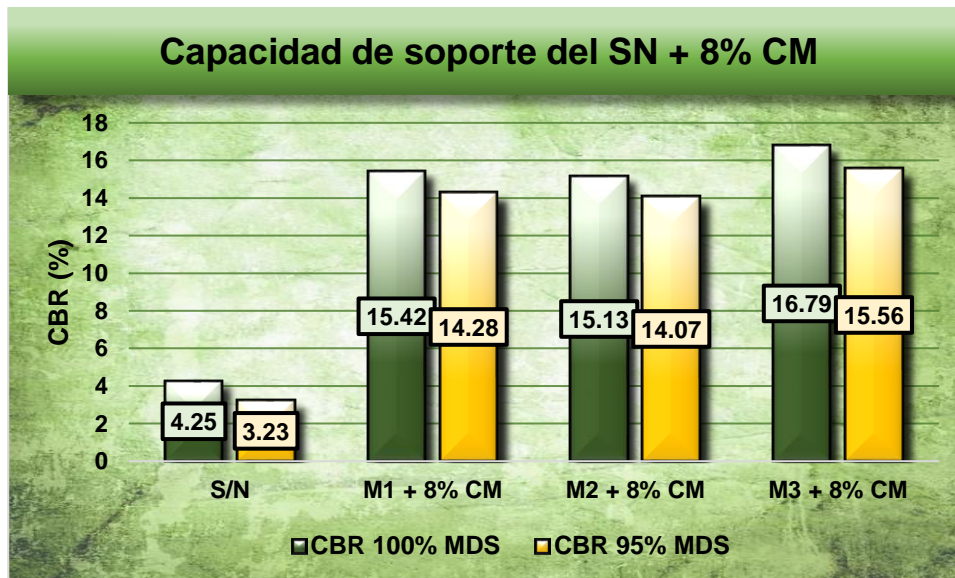
CBR del SN + 8% CM

CBR del SN + 8% Conchas marinas		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
S/N	4.25	3.23
M1 + 8% CM	15.42	14.28
M2 + 8% CM	15.13	14.07
M3 + 8% CM	16.79	15.56
Promedio	15.78	14.64

Nota: Adaptado de los resultados de laboratorio.

Figura 31

CBR del SN + 8% CM



La figura 27, muestra el CBR del SN de la subrasante con la inclusión de conchas marinas, donde se aprecia un aumento de la capacidad de soporte CBR de 14.64% al 95% de la MDS.

4.1.5. Comparativo de los resultados obtenidos

Una vez recopilados todos los resultados acordes con los objetivos, realizaremos un estudio comparativo de los resultados obtenidos.

4.1.5.1. Comparativo del Índice de plasticidad

a) Índice de plasticidad de SN + Óxido de calcio

Tabla 29

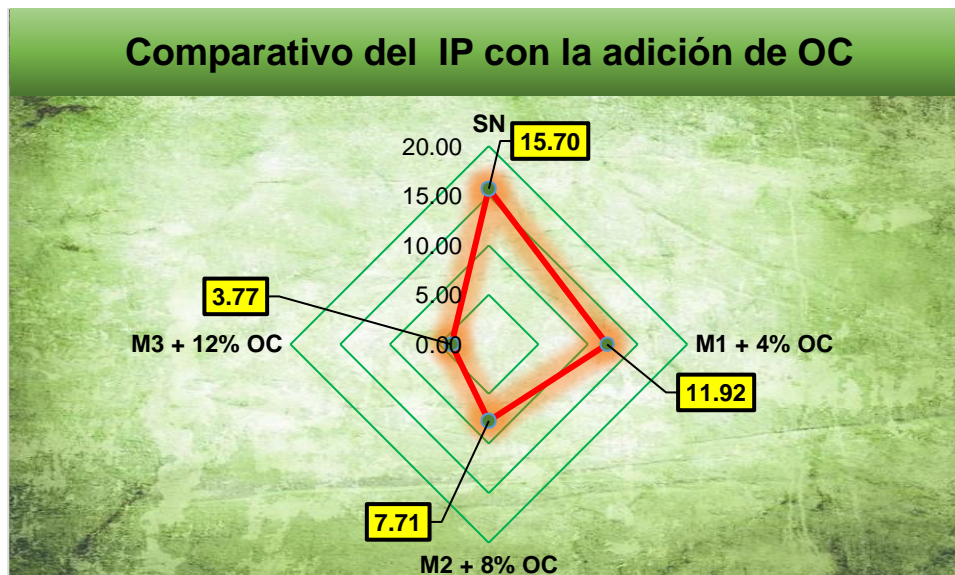
Comparativo del IP con la adición del OC

Comparativo del IP + OC	
Adición	IP (%)
SN	15.70
M1 + 4% OC	11.92
M2 + 8% OC	7.71
M3 + 12% OC	3.77

Nota: Adaptado de los resultados obtenidos.

Figura 32

Comparativo del IP con la adición del OC



La figura 28, muestra los resultados de la comparación del IP obtenido con la incorporación de óxido de calcio. El IP más alto alcanzado es 11.92%, que se produce con la combinación de SN + 4% OC.

b) Índice de plasticidad de SN + Conchas marinas

Tabla 30

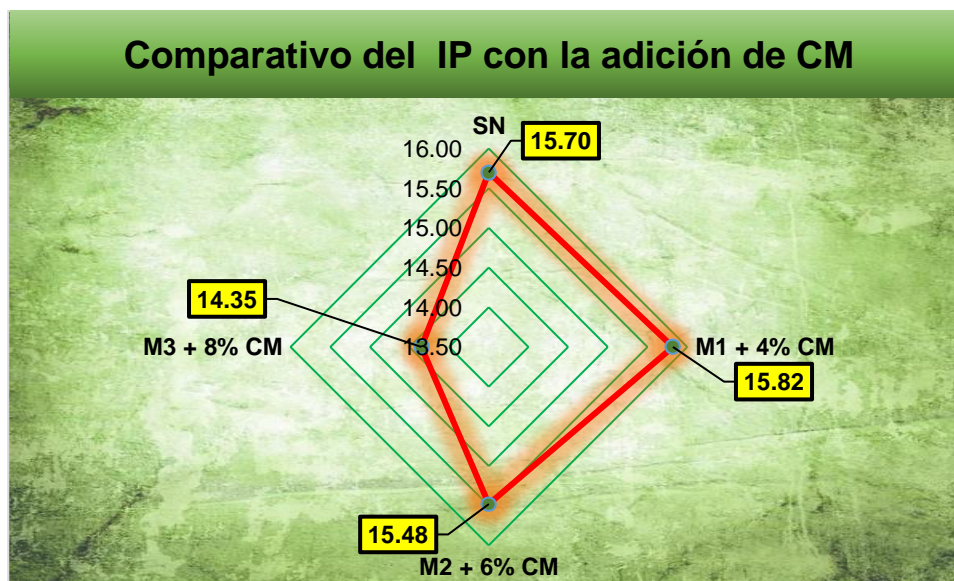
Comparativo del IP con la adición de CM

Comparativo del IP + CM	
Adición	IP (%)
SN	15.70
M1 + 4% CM	15.82
M2 + 6% CM	15.48
M3 + 8% CM	14.35

Nota: Adaptado de los resultados obtenidos.

Figura 33

Comparativo del IP con la adición de CM



La figura 29, muestra los resultados de la comparación del IP obtenido con la incorporación de conchas marinas. El IP más alto alcanzado es 15.82%, que se produce con la combinación de SN + 4% CM.

4.1.5.2. Comparativo del Grado de compactación

a) Grado de compactación de SN + Óxido de calcio

Tabla 31

Comparativo del GC con la adición del OC

Comparativo del GC + OC	
Adición	MDS (gr/cc)
SN	1.731
M1 + 4% OC	1.755
M2 + 8% OC	1.809
M3 + 12% OC	1.775

Nota: Adaptado de los resultados obtenidos.

Figura 34

Comparativo del GC con la adición del OC



La figura 30, muestra los resultados de la comparación del GC obtenido con la incorporación de óxido de calcio. El GC más alto alcanzado es 1.809 gr/cc, que se produce con la combinación de SN + 8% OC.

b) Grado de compactación de SN + Conchas marinas

Tabla 32

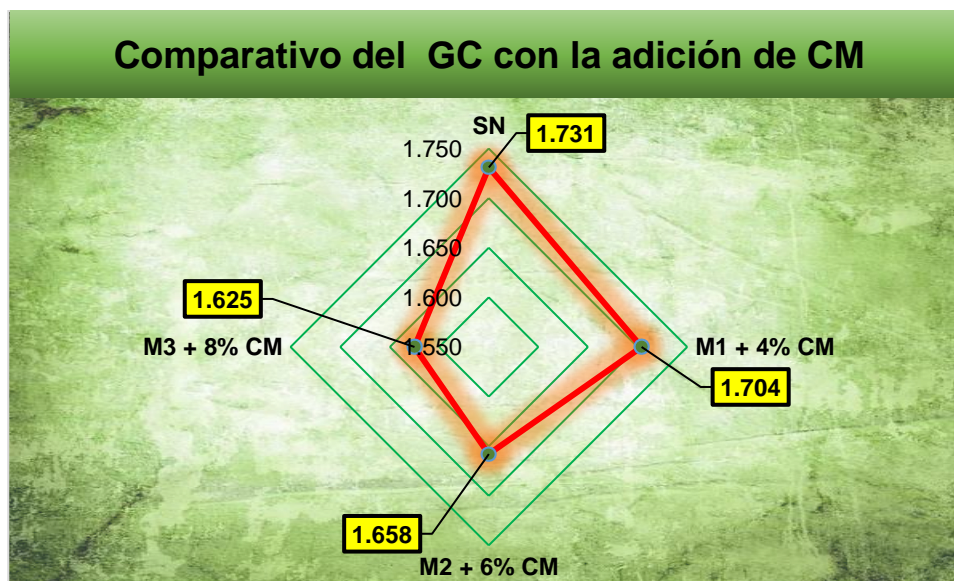
Comparativo del GC con la adición de CM

Comparativo del GC + CM	
Adición	MDS (gr/cc)
SN	1.731
M1 + 4% CM	1.704
M2 + 6% CM	1.658
M3 + 8% CM	1.625

Nota: Adaptado de los resultados obtenidos.

Figura 35

Comparativo del GC con la adición de CM



La figura 31, muestra los resultados de la comparación del GC obtenido con la incorporación de conchas marinas. El GC más alto alcanzado es 1.704 gr/cc, que se produce con la combinación de SN + 4% CM.

4.1.5.3. Comparativo del CBR

a) CBR del SN + Óxido de calcio

Tabla 33

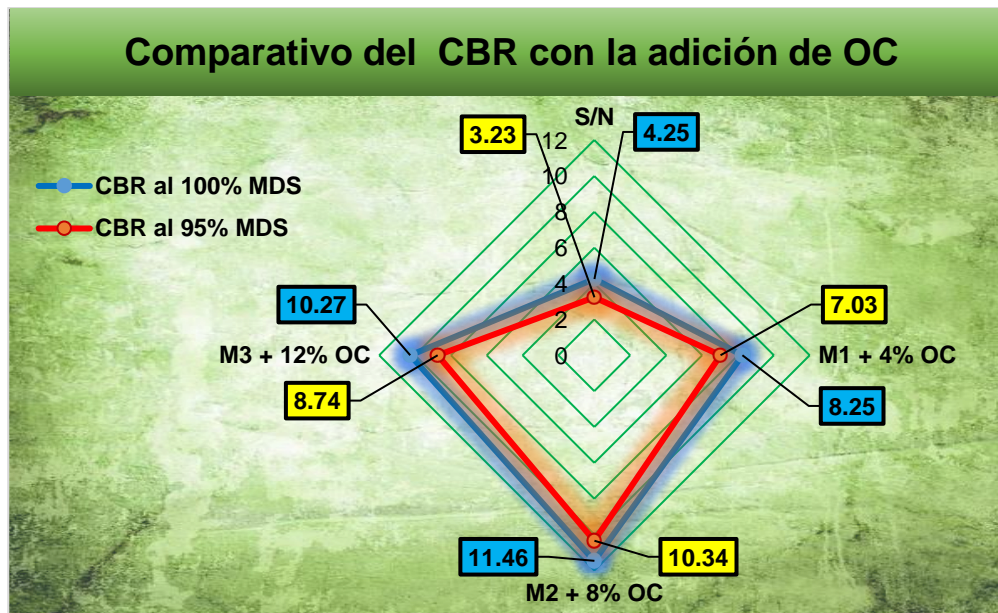
Comparativo del CBR con la adición de OC

Comparativo del CBR + OC		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
SN	4.25	3.23
M1 + 4% OC	8.25	7.03
M2 + 8% OC	11.46	10.34
M3 + 12% OC	10.27	8.74

Nota: Adaptado de los resultados obtenidos.

Figura 36

Comparativo del CBR con la adición de OC



La figura 32, muestra los resultados de la comparación del CBR obtenido con la incorporación de óxido de calcio. El CBR al 95% más alto alcanzado es 10.34%, que se produce con la combinación de SN + 8% OC.

b) CBR del SN + Conchas marinas

Tabla 34

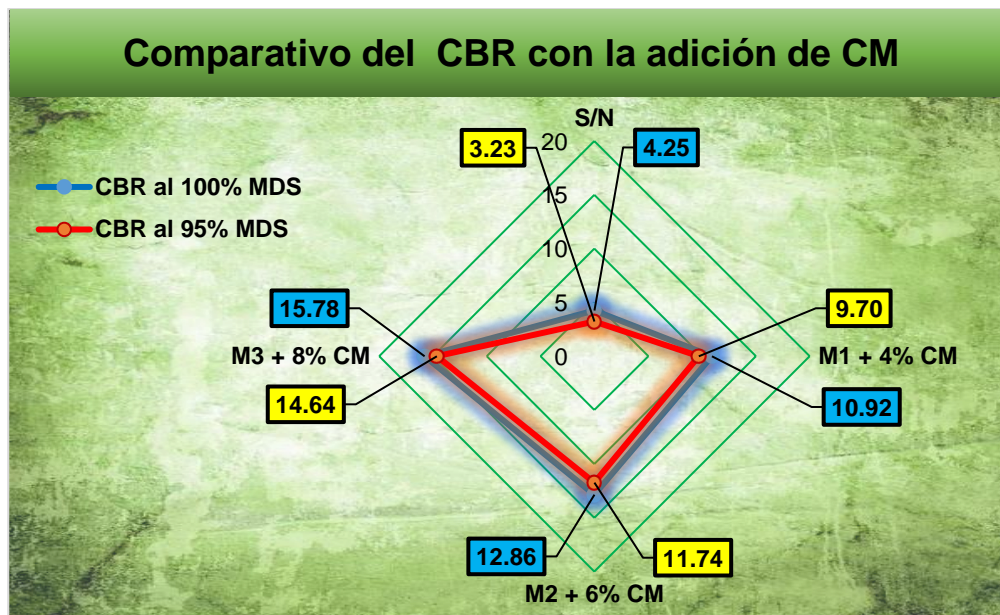
Comparativo del CBR con la adición de CM

Comparativo del CBR + CM		
Calicata	CBR al 100% MDS	CBR al 95% MDS
SN	4.25	3.23
M1 + 4% CM	10.92	9.70
M2 + 6% CM	12.86	11.74
M3 + 8% CM	15.78	14.64

Nota: Adaptado de los resultados obtenidos.

Figura 37

Comparativo del CBR con la adición de CM



La figura 33, muestra los resultados de la comparación del CBR obtenido con la incorporación de conchas marinas. El CBR al 95% más alto alcanzado es 14.64%, que se produce con la combinación de SN + 8% CM.



4.2. Discusión de Resultados

El análisis de la discusión de resultados se basa en las investigaciones a las que se hace referencia en el capítulo II, en el que se comparan los datos recogidos en este estudio con los de los autores mencionados y citados en el capítulo II.

El presente estudio examinó las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante de la Avenida Ferrocarril. La investigación encontró que el IP promedio fue de 15.70%, la densidad seca máxima fue de 1.731 gr/cc, con un contenido de humedad óptimo de 18.05%. Además, se determinó que la capacidad de soporte CBR promedio de 3.23% al 95% de la MDS.

La presente investigación cuando se le incorporo óxido de calcio y conchas marinas trituradas, nos brindó estos resultados en el aspecto de índice de plasticidad con el empleo de óxido de calcio al 4% llegó a 11.92%, con el 8% al 7.71% finalmente con el 12% al 3.77%, en tanto con las conchas marinas con el 4% llegó a 10.14%, con el 6% llegó a 9.84% finalmente con el 8% al 11.39%, seguidamente se hizo el ensayo del grado de compactación, con la inclusión de óxido de calcio al 4%, 8% y 12% llegó a 1.755gr/cc, 1.809gr/cc y 1.775gr/cc, mientras con las conchas marinas al 4%, 6% y 8% llegó a 1.694gr/cc, 1.648gr/cc y 1.615gr/cc, en tanto en el ensayo de capacidad de soporte CBR al 95% , con óxido de calcio en proporciones de 4%, 8% y 12%, llegó a 7.03, 10.34 y 8.74, con las conchas marinas al 4%, 6% y 8%, llegó a 6.29, 9.13 y 10.14.

El autor (Saavedra, 2022) muestra un IP de 22.29%, mientras el grado de compactación llegó a 1.751, y finalmente la capacidad de soporte CBR del SN se tiene una media de 4.28% al 100%.

Nuestro estudio comparte similitudes con la investigación de Quispe (2021), cuyo objetivo era mejorar un suelo arcilloso mediante la inclusión de cantidades variables de óxido de calcio (3%, 6% y 9%). Se detectó una disminución sustancial del IP al comparar la muestra carente de óxido de calcio con la muestra base, con una reducción de 19.70% al 14.10%. En nuestra investigación, la incorporar de óxido de calcio, produjo una notable



reducción del índice de plasticidad (IP) del suelo. El IP inicial del suelo era del 15,70%, y tras introducir óxido de calcio a una concentración del 3,77%, observamos una disminución hasta el 11%. Ambos estudios demuestran mejoras en las características físicas de la subrasante mediante la utilización de óxido de calcio como estabilizante.

Tejada (2023) realizó un estudio para examinar el impacto de las conchas marinas trituradas en las cualidades de la subrasante de una carretera concreta. Se observó un aumento de la plasticidad al incorporar conchas marinas en diversas concentraciones (0%, 3%, 5% y 9%). Esto dio lugar a la disminución correspondientes del 21%, 19%, 19% y 17% en los límites de Atterberg. Este estudio presenta un resultado opuesto al de la muestra, ya que revela una reducción del PI (%) al utilizar conchas marinas, mientras que la investigación de guía mostró un aumento de la plasticidad al utilizar conchas marinas.

Esto se alinea con la investigación realizada por Quispe (2021), que investigó la estabilización de suelos limo-arcillosos mediante la incorporación de óxido de cal viva en concentraciones de 3%, 6% y 9%. Para nuestra investigación, seleccionamos dosis de óxido de calcio de 4%, 8% y 12%. Estas dosificaciones tuvieron un impacto notable, especialmente cuando se añadió el 12%. Así, nuestros resultados indican que el óxido de calcio mejora las cualidades del suelo y, por tanto, mejora el proceso de construcción de carreteras. Esto se debe a su condición de subproducto de los materiales orgánicos.



CONCLUSIONES

Primera, el suelo presenta un Índice de Plasticidad de 15.70%, donde se clasifica como un suelo de plasticidad media. Asimismo, la densidad seca máxima (MDS) promedio del suelo es de 1.731gr/cc, y un contenido de humedad óptimo del 18.05%, lo que indica un nivel de compactación relativamente baja. El CBR al 95% de la MDS, es de 3.23%, indicando que el suelo de subrasante es muy débil.

Segunda, la inclusión de óxido de calcio en concentraciones del 4%, 8% y 12% demuestra un impacto beneficioso en el índice de plasticidad, con una disminución del 11% en comparación con el suelo natural. De igual modo, la inclusión de conchas marinas en concentraciones del 4%, 6% y 8%, da como resultado una reducción del 4% en el índice de plasticidad en comparación con la muestra de suelo natural.

Tercera, la inclusión de óxido de calcio en proporciones del 4%, 8% y 12%, se produce una disminución del 9% en la máxima densidad seca, lo que se sugiere un nivel reducido de compactación. Asimismo, la inclusión de conchas marinas en concentraciones del 4%, 6% y 8% conduce a una disminución del 5% en la máxima densidad seca en comparación con la muestra de suelo natural.

Cuarta, la inclusión de óxido de calcio en concentraciones del 4%, 8% y 12% demuestra un efecto positivo en la capacidad de soporte CBR, mostrando una mejora gradual y continua. La proporción óptima es del 8%, que corresponde a un valor de 10.34% para el 95% de la MDS. Sin embargo, cuando se utilizan conchas marinas en proporciones del 4%, 6% y 8%, se produce un aumento notable y beneficioso de la capacidad de soporte CBR. Se determina que la proporción óptima es del 8%. Esto demuestra mejoras en comparación con la muestra de suelo natural.



RECOMENDACIONES

Primera, se recomienda la combinación de óxido de calcio y las conchas marinas trituradas como un aditivo reutilizable. Esta mezcla, utilizando diferentes porcentajes, puede ofrecer mejoras significativas en suelos con altos niveles de arcilla, además de contribuir a la reducción de la contaminación ambiental.

Segunda, se recomienda llevar a cabo una prueba CBR in situ para obtener un valor preciso sobre el terreno de la capacidad de soporte relativa. Esto facilitará una interpretación más exacta de la capacidad de soporte de la subrasante.

Tercera, se recomienda llevar a cabo un estudio para determinar las profundidades o espesores de estabilización del suelo en relación con la mejora proporcionada por el óxido de calcio y las conchas marinas trituradas. Este análisis podría ofrecer una valiosa contribución al costo de mejora de la carretera en el futuro.

Cuarta, se recomienda utilizar una proporción del 8% de óxido de calcio, ya que esta combinación reduce el índice de plasticidad en un 67%, aumenta el grado de compactación en un 5.32% y mejora significativamente la capacidad de soporte CBR en un 2.30%.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Apac, J. S. (2020). *Estabilización de suelos blandos con valva de conchas de abanico para la subrasante tramo 0+0.6 km Cañete 2020*. Lima - Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64395/Apac_JJS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barros, E. (2014). *Compactación de suelos*. Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de <https://es.slideshare.net/edisonbarros98/compactaciones-de-los-suelos>
- Beltrán, M., & Copado, J. (2011). *Estabilización de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimento en la colonia San Juan*. Mexico: Instituto Tecnológico de Sonora. Obtenido de http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/310_copado_jose.pdf
- Bravo, P., & Daza, P. (2019). *Análisis del comportamiento de la expansión mediante métodos de estabilización de suelos*. Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/32443/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Bringas, M., & Mejia, J. (2019). *Uso de las conchas marinas pulverizadas en el mejoramiento de la capacidad de soporte de la ubrasante en vías de baja transitabilidad caso: Av. Holanda, Los Olivos - Lima*. Lima - Perú: Universidad de San Martín de Porras. Obtenido de <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/5340>
- Ccansaya, F. (2014). *Plastidad de lo suelos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/fritzccamsaya/plasticidad-de-suelos>
- Chavez, L. A. (2022). *Evaluación de bischofita y óxido de calcio en las propiedades de la subrasante de la av. Manchay, Pachacamac - Lima 2022*. Lima - Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/102644/Chavez_RL-A-Huillca_SAS%20-%20SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y



- Creswell, J., & Creswell, D. (2017). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications. Obtenido de https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/510378/mod_resource/content/1/creswell.pdf
- Elizondo, F., Navas, A., & Sibaja, D. (2010). *Efecto de las propiedades de calidad de la cal en la estabilización de subrasantes de alta plasticidad*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/501/CILA-07-09.%20EFECTO%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20DE%20CALIDAD%20DE%20LA%20CAL%20EN%20LA%20ESTABILIZACI%C3%93N%20DE%20SUBRASANTES%20DE%20ALTA%20PLASTICIDAD.pdf?sequence=1>
- Gómez. (2020). *Estabilización de suelos arcillosos con cal*. Obtenido de <https://www.horcalsa.com/blog/estabilizacion-de-suelos-arcillosos-con-cal-horcalsa/>
- Harloff, J. P. (2020). *Seguimiento y control de calidad a la construcción de terraplenes con suelos marginales*. Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15953/7/HarloffJan_2020_CalidadConformacionTerraplen.pdf
- Hernandez & Baptista. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill. Mexico. Obtenido de <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- Hernandez, C. J., & Velasquez, E. B. (2023). *Estabilización con conchas de mejillón y cal en la subrasante de la carretera de Pías, Pataz 2022*. Trujillo - Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/34742/Hernandez%20Terrones%2c%20Carlos%20Jeanpier%20-%20Velasquez%20Paredes%2c%20Edil%20Brando.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: McGRW-HILL INTERAMERICANA EDITORES S.A.
- Higuera, C. H. (2010). *Características de la resistencia de la subrasante con la información del deflectometro de impacto*. Obtenido de



file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Dialnet-

CaracterizacionDeLaResistenciaDeLaSubrasanteConLal-3856618.pdf

Leedy, P., & Ormrod, J. (2019). *Practical research: Planning and design*. Pearson.

Obtenido de [https://pcefet.com/common/library/books/51/2590_%5BPaul_D._Leedy,_Jeanne_Ellis_Ormrod%5D_Practical_Res\(b-ok.org\).pdf](https://pcefet.com/common/library/books/51/2590_%5BPaul_D._Leedy,_Jeanne_Ellis_Ormrod%5D_Practical_Res(b-ok.org).pdf)

Linares, R. (2019). *Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno*. Perú: Universidad toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Obtenido de

<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1800/Linares%20Chavez%20Roiser%20Rene.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Maldonado, Y. (2021). *Pavimento: Tipos, propiedades, características y usos*. Obtenido de

<https://geologiaweb.com/materiales/pavimento/>

Medina, J. (2021). *Estabilización de suelos con conchas marinas para su uso en las vías terrestres*. Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de

https://www.revista.unam.mx/2021v22n2/conchas_marinas_exquisitos_termometros/

Moreira, L. (2020). *Ensayo CBR in situ ASTM D1883*. Obtenido de

https://www.academia.edu/27990934/ENSAYO_CBR_IN_SITU_ASTM_D

Oviedo, F. (2023). *Evaluación de la sub rasante empleando cal en los suelos cohesivos de la urbanización Corazón de Jesús del distrito de Socabaya - Arequipa*. Juliaca:

Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/T036_29632803_T_.pdf

Padilla, A. (2020). *Materiales de uso técnico. Pétreos, naturales y artificiales*. Universidad

Peruana de Ciencias Aplicada. Obtenido de

[https://www.google.com/search?q=upc&tbm=isch&ved=2ahUKEwi48s3ogdaFAxXfgWEGHZGTDh0Q2-](https://www.google.com/search?q=upc&tbm=isch&ved=2ahUKEwi48s3ogdaFAxXfgWEGHZGTDh0Q2-cCegQIABAA&oq=upc&gs_l=EGNpbWciA3VwYzIIEAAYgAQYsQMyCBAAGIAEGLEDMggQABiABBixAzIFEAAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgARI2RIQghFYxBdwAHgAkAEAmAFYoAH)

[cCegQIABAA&oq=upc&gs_l=EGNpbWciA3VwYzIIEAAYgAQYsQMyCBAAGIAEGLEDMggQABiABBixAzIFEAAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgARI2RIQghFYxBdwAHgAkAEAmAFYoAH](https://www.google.com/search?q=upc&tbm=isch&ved=2ahUKEwi48s3ogdaFAxXfgWEGHZGTDh0Q2-cCegQIABAA&oq=upc&gs_l=EGNpbWciA3VwYzIIEAAYgAQYsQMyCBAAGIAEGLEDMggQABiABBixAzIFEAAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgARI2RIQghFYxBdwAHgAkAEAmAFYoAH)

Pernia, J. (2014). *Diferencia entre suelos cohesivos y granulares*. Obtenido de

https://www.academia.edu/38590102/DIFERENCIAS_ENTRE_SUELOS_COHESIVOS_Y_GRANULARES



- Quispe, F. T. (2021). *Evaluación del óxido de calcio para estabilizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante del Jirón Carlos Sowersby, Distrito de Carhuamayo*. Huancayo - Perú: Universidad Peruana los Andes. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/T037_47209230_T.pdf
- Saavedra, M. (2022). "Evaluación de las Propiedades de la Subrasante Estabilizada con Óxido de Calcio para Vía no Pavimentada - Huancavelica, 2022. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Saavedra_CM-SD.pdf
- Saavedra, M. (2022). *Evaluación de las propiedades de la subrasante estabilizada con óxido de calcio para vía no pavimentada Pazos*. Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Saavedra_CM-SD%20(2).pdf
- Silvestre, I., & Huamán, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria*. Lima: San Marcos E.I.R.L.
- Valcarcel, D. A. (2024). *Influencia de la cal en las propiedades físicas - mecánicas del suelo de subrasante del tramo Coasa - Saco, km 62+295 - 62+545, Provincia de Carabaya*. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/21826/Valcarcel_Aroutipa_Diego_Arturo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yepes, V. (2010). *La estabilización de suelos*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/23/la-estabilizacion-de-suelos/>
- Zapata, R. (2018). *Tipos de suelos: Caracterización de suelos arcillosos y limosos*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>



ANEXOS



Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es la variación de las propiedades de la subrasante con el empleo de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Analizar y comparar la variación de las propiedades de la subrasante con el empleo de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La variación de las propiedades de la subrasante con el empleo de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca, serán regulares, ya que ambos mejorarán las propiedades de la subrasante.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS</p> <p>Dimensiones: <i>Porcentajes</i> SN + 4% OC SN + 8% OC SN + 12% OC</p> <p><i>Porcentajes</i> SN + 4% CM SN + 6% CM SN + 8% CM</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>PROPIEDADES DEL SUELO SUBRASANTE</p> <p>Dimensiones: <i>Índice de plasticidad</i> <i>Grado de compactación</i> CBR</p>	<p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p> <p>Equipos y herramienta de Laboratorio para realizar ensayos.</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en el índice de plasticidad del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en el grado de compactación del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en la capacidad de soporte CBR del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar las propiedades físicas y mecánicas del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en el índice de plasticidad del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en el grado de compactación del estrato de subrasante de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar la influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables en la capacidad de soporte CBR del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>Las propiedades físicas y mecánicas del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca, será malas y deficientes.</p> <p>La influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables reducirá el índice de plasticidad del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.</p> <p>La influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables aumentará el grado de compactación del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.</p> <p>La influencia de la aplicación de óxido de calcio y conchas marinas trituradas en proporciones variables incrementará la capacidad de soporte CBR del estrato de subrasante de la avenida Ferrocarril de la ciudad de Juliaca.</p>		

Anexo B. Panel Fotográfico

Fotografía N° 01: Colocado de muestra para tamizado



Fotografía N° 02: Clasificación de muestras retenidas



Fotografía N° 03: Tamizado de la muestra



Fotografía N° 04: Muestra para límite líquido



Fotografía N° 05: Prueba de límite plástico



Fotografía N° 06: Clasificación de muestras de límite líquido y plástico



Fotografía N° 07: Pesado de muestra de límite plástico



Fotografía N° 08: Pesado de muestra de límite líquido



Fotografía N° 09: Manipulación del equipo de cuchara de Casagrande



Fotografía N° 10: Pesado de molde de Proctor modificado



Fotografía N° 11: Llenado de muestra en el molde del Proctor modificado



Fotografía N° 12: Apisonado de muestra en capas en el molde



Fotografía N° 13: Apisonado de la última capa en el molde de Proctor



Fotografía N° 14: Pesado de la muestra compactada + molde



Fotografía Nº 15: Inmersión de muestra + molde para determinación de expansión



Fotografía Nº 16: Medición de la expansión a cada 30 min.



Fotografía N° 17: Pesado de muestras de límites de consistencia



Fotografía N° 18: Colocado de muestras en el horno para conocer el contenido de humedad



Fotografía N° 19: Control de humedad



Fotografía N° 20: Retirado de muestras del horno





Anexo C. Certificados de Calidad de Laboratorio



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



PROYECTO

- ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE

- Bach. NELSON YAR MAMANI SACACA

LUGAR

- AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA

PROGRESIVA

- KM 2+000 - 2+400

MUESTRA

- CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 4%

FECHA

- 09 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	91.84
SUELO SECO + TARRO	gr	84.25
PESO DEL TARRO	gr	25.78
PESO DEL AGUA	gr	7.58
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.47
HUMEDAD %	%	12.98

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	31.82	32.62	30.18
SUELO SECO + TARRO	gr	29.47	30.42	28.75
PESO DEL TARRO	gr	23.47	23.55	24.68
PESO DEL AGUA	gr	2.35	2.20	1.43
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.00	6.87	4.07
HUMEDAD %	%	39.17	32.02	35.14
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

	T-14	T-15
	19.96	21.27
	19.72	20.86
	18.65	18.28
	0.24	0.41
	1.07	2.58
	22.43	15.89

LÍMITE LIQUIDO % : 34.94

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.16

ÍNDICE PLÁSTICO % : 15.78

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

INVESTIGADOR: NELSON YAR MAMANI SACACA
 RCP - DE INGENIERÍA CIVIL
 Ing. Arnoldo Yano Torres
 P. No. 974957



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



PROYECTO ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE : Bach. NELSON YAIR MAMANI BACACA

LUGAR : AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA

PROGRESIVA : KM 2+000 - 2+400

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 8%

FECHA : 08 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	90.88
SUELO SECO + TARRO	gr	84.25
PESO DEL TARRO	gr	27.82
PESO DEL AGUA	gr	6.43
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.63
HUMEDAD %	%	11.35

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	35.69	34.56	31.89
SUELO SECO + TARRO	gr	33.41	33.05	30.88
PESO DEL TARRO	gr	27.82	28.54	27.65
PESO DEL AGUA	gr	2.28	1.51	1.11
PESO DEL SUELO SECO	gr	5.79	4.51	3.23
HUMEDAD %	%	39.38	33.48	34.37
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

	T-14	T-15
	22.43	20.58
	20.82	19.26
	12.31	12.50
	1.61	1.32
	8.51	6.76
	18.92	19.53

LÍMITE LIQUIDO % : 35.28

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.22

ÍNDICE PLÁSTICO % : 16.03

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$
 Donde:
 LL = Límite Líquido
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
 N = Número de Golpes



ASOCIACIÓN INGENIEROS Y ARQUITECTOS
 T.C.P. - C.A.P. INGENIERÍA CIVIL
 M.S.C.A. JEFATURA
 Nelson Yair Mamani Bacaca
 C.I.D. 1111111111



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 ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE : BARRI NELSON YAIR MAMANI SACACA

LUGAR : AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA

PROGRESIVA : KM 2+000 - 2+400

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1 - CONCHAS MARINAS 8%

FECHA : 01 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	90.25
SUELO SECO + TARRO	gr	82.31
PESO DEL TARRO	gr	23.68
PESO DEL AGUA	gr	7.94
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.63
HUMEDAD %	%	13.54

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	31.48	30.68	32.86
SUELO SECO + TARRO	gr	28.91	28.34	30.15
PESO DEL TARRO	gr	21.59	21.32	21.89
PESO DEL AGUA	gr	2.57	2.34	2.71
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.32	7.02	8.26
HUMEDAD %	%	35.11	33.33	32.81
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

	T-14	T-15
	21.92	22.89
	20.89	21.66
	14.82	14.76
	1.23	1.24
	6.07	6.89
	20.26	18.00

LÍMITE LIQUIDO % : 33.26

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.13

ÍNDICE PLÁSTICO % : 14.13

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 TFP - CAP INVESTIGATIVO

[Firma]
 Yair Arnoldo Yeto Torres
 CIP 1033297



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

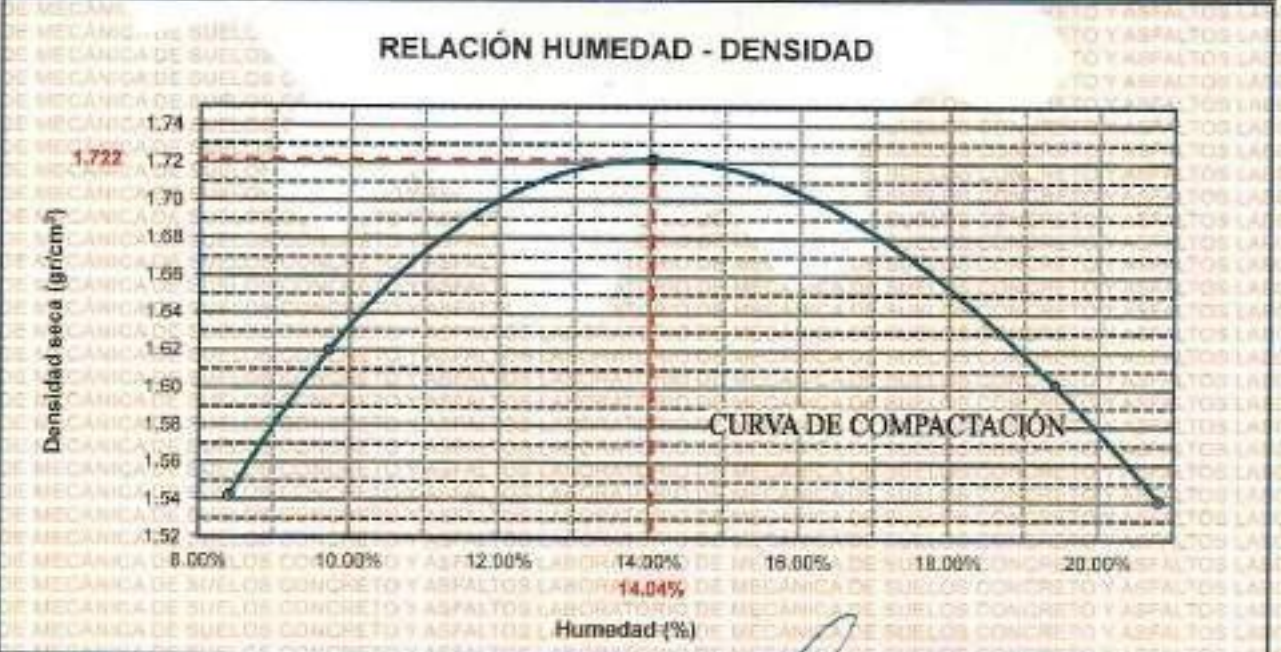
TESIS	: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA.
SOLICITANTE	: Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	: AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	: KM 2+000 - 2+400
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 4%
FECHA	: 10 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 938 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5882	5941	5814	5715
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1741	1790	1663	1564
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.851	1.913	1.778	1.672

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	287.94	268.00	207.76	206.48	185.41	188.15	201.94	191.48
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	249.71	234.11	178.31	181.36	153.92	156.95	189.02	179.98
Peso del Agua	gr.	37.48	33.92	29.47	25.12	11.49	11.80	12.92	12.11
Peso de la Capsula	gr.	70.12	70.97	38.36	39.92	35.06	35.81	35.86	34.90
Peso del Suelo Seco	gr.	178.59	163.14	139.95	141.44	118.86	120.54	153.16	144.58
% de Humedad	%	20.84%	20.79%	21.06%	17.76%	9.67%	9.79%	8.44%	8.38%
Promedio de Humedad	%	20.82%		19.41%		9.73%		8.41%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.540		1.602		1.620		1.542	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.722 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 14.04%



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

[Firma]
Ing. Arnoldo Yana Torres
CIP: 607257



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	: AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	: KM 2+000 - 2+400
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 - CONCHAS MARINAS 4%
FECHA	: 10 DE MAYO DEL 2021

MOLDE No		III	II	I
No DE CAPAS		5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		12	25	58
CONDICIONES DE LA MUESTRA		SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10516	11308	11278	11791	10582	11019
Peso del Molde	gr.	6797	6797	7283	7283	6601	6601
Peso del Suelo Humedo	gr.	3719	4508	3993	4508	3881	4418
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2098.50	2095.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.767	2.142	1.900	2.145	1.850	2.107

Capcula No	No	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	228.31	375.15	242.62	408.32	226.06	365.67
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	209.57	314.78	218.12	343.71	209.58	332.68
Peso del Agua	gr.	22.74	60.39	24.50	61.61	17.28	53.18
Peso de la Capsula	gr.	37.41	68.92	39.94	70.11	38.74	67.47
Peso del Suelo Seco	gr.	188.18	244.84	178.18	273.60	170.84	265.22
% de Humedad	%	13.89%	24.57%	13.75%	22.52%	10.11%	20.05%
Promedio de Humedad	%	13.89%	24.57%	13.75%	22.52%	10.11%	20.05%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.554	1.718	1.670	1.751	1.724	1.755

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Diel	Expansion		Diel	Expansion		Diel	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/09/2023	08:25 a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
18/09/2023	08:25 a.m.	24:00:00	0.134	3.404	2.70	0.102	2.691	2.09	0.088	2.159	1.72
20/09/2023	08:25 a.m.	48:00:00	0.248	6.299	5.00	0.224	5.660	4.52	0.140	3.556	2.82
21/09/2023	08:25 a.m.	72:00:00	0.332	8.433	6.70	0.276	7.010	5.57	0.178	4.470	3.55
22/09/2023	08:25 a.m.	96:00:00	0.378	9.601	7.83	0.300	7.820	6.05	0.192	4.877	3.87

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				58 GOLPES			
			Diel	Kg	Kg/cm2	Correc.	Diel	Kg	Kg/cm2	Correc.	Diel	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		13.47	67.30	4.25		17.12	97.60	5.06		22.31	119.83	6.19	
1.27	01:00		15.98	90.41	4.67		19.21	106.67	5.51		24.62	128.63	6.70	
1.91	01:30		17.51	99.45	5.14		21.35	116.75	5.98		26.28	136.93	7.30	
2.54	02:00	70.31	19.78	108.09	5.64	8.02	23.76	125.98	6.51	9.26	28.15	144.81	7.48	10.63
3.81	03:00		28.95	148.01	7.65		33.14	185.70	8.57		38.62	198.05	9.77	
5.09	04:00	105.00	37.27	183.07	9.46	9.01	42.38	205.01	10.60	10.09	48.96	232.90	12.04	11.47
5.35	05:00		39.48	192.62	9.98		44.43	213.71	11.06		50.31	239.52	12.38	
7.62	06:00		40.15	195.66	10.11		45.05	218.89	11.32		51.36	243.13	12.57	
8.84	07:00		41.38	200.81	10.38		46.52	223.68	11.57		52.47	247.94	12.81	
10.16	08:00		42.36	204.50	10.59		47.68	227.51	11.76		53.59	252.58	13.06	

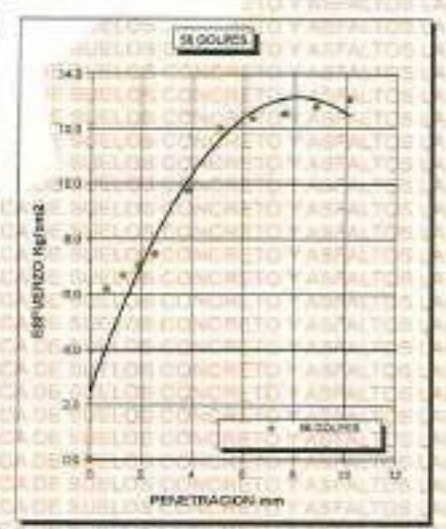
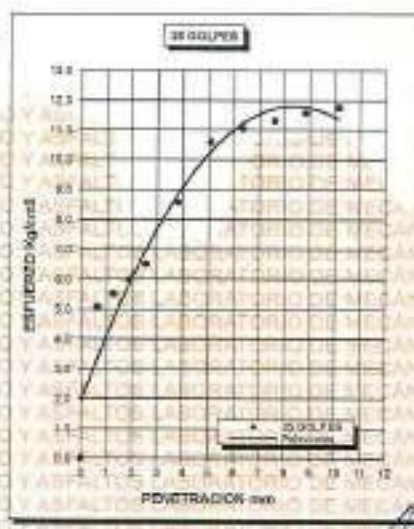
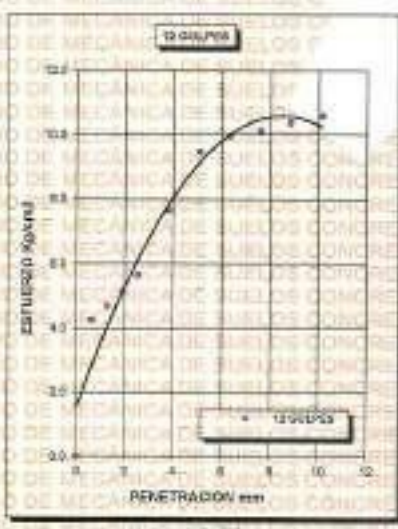
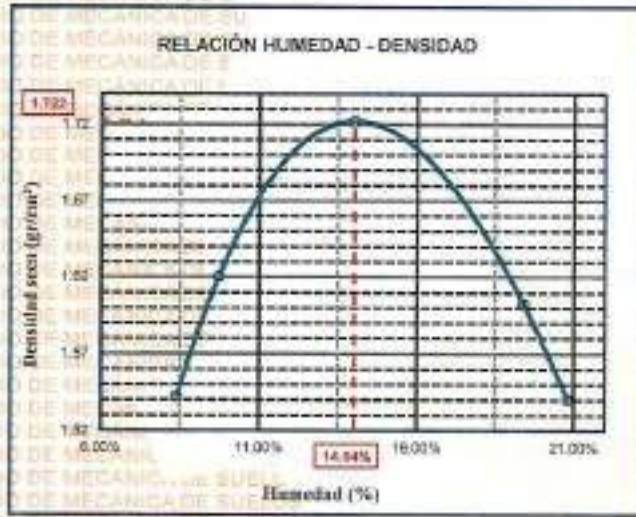
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 Ing. Aníbal Tito Torres
 CIP 100257



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 :	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA	MAXIMA DENSIDAD SECA [gr/cm ³] : 1.722
UBICACIÓN :	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) : 14.94%
PROGRESIVA :	KM 2+000 - 2+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) : 10.42
MUESTRA :	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 4%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) : 9.08
FECHA :	10 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBERIDO : 4 DIAS



INVESTIGADOR RESPONSABLE
FICP - CAP, INGENIERIA CIVIL

[Signature]
Dr. Arnaldo Yane Torres
D.P. 101757



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	KM 2+000 - 2+400
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 6%
FECHA	13 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	938 cm ³
No DE CAPAS	3	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	5925	5938	5838	5718
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	1774	1787	1688	1567
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	1.896	1.910	1.801	1.675

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	291.41	272.48	220.72	208.96	170.38	172.24	300.93	160.26
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	252.68	237.08	186.13	180.31	157.31	159.72	100.66	178.81
Peso del Agua	gr.	38.53	35.40	34.59	28.65	13.07	12.52	12.25	11.45
Peso de la Capsula	gr.	71.13	70.10	36.11	35.87	36.08	36.07	30.78	28.44
Peso del Suelo Seco	gr.	181.75	166.92	150.02	143.44	121.25	123.55	148.90	140.37
% de Humedad	%	21.20%	21.21%	16.08%	16.07%	10.78%	10.13%	8.23%	8.18%
Promedio de Humedad	%	21.20%		16.08%		10.45%		8.18%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.565		1.545		1.631		1.548	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.664 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	13.43%




 MIGUEL ÁNGEL VASO TORRES
 INGENIERO CIVIL
 CIP 103254



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y GOMCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	: AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	: KM 2+000 - 2+400
MUESTRA	: CARGATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 8%
FECHA	: 13 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		55	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10511	11587	10524	11349	11103	11630
Peso del Molde	gr.	6853	6853	6691	6691	7047	7047
Peso del Suelo Humedo	gr.	3658	4744	3833	4658	4056	4583
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2066.60	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.738	2.254	1.824	2.216	1.935	2.195

Capsula No	No.	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	421.22	404.58	365.32	427.44	214.81	424.45
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	371.36	393.48	236.68	355.55	191.01	368.68
Peso del Agua	gr.	49.86	71.11	28.64	71.89	23.80	65.97
Peso de la Capsula	gr.	88.92	69.93	35.79	68.74	38.48	68.17
Peso del Suelo Seco	gr.	301.44	283.52	197.89	286.81	152.55	290.71
% de Humedad	%	16.54%	29.98%	14.47%	25.07%	15.90%	22.89%
Promedio de Humedad	%	16.54%	26.98%	14.47%	25.07%	15.60%	22.56%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.491	1.775	1.593	1.772	1.674	1.784

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/09/2023	08:25 a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/09/2023	08:25 a.m.	24:00:00	0.238	6.045	4.80	0.218	6.537	4.40	0.150	3.810	9.03
20/09/2023	08:25 a.m.	48:00:00	0.295	7.239	5.75	0.275	6.985	5.55	0.195	4.978	8.95
21/09/2023	08:25 a.m.	72:00:00	0.368	8.347	7.43	0.310	7.874	6.26	0.228	5.791	8.80
22/09/2023	08:26 a.m.	96:00:00	0.404	10.262	8.15	0.335	8.500	8.79	0.270	6.858	5.45

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				55 GOLPES				
			Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	
0.00	0:05		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.63	09:30		20.08	110.40	5.71		24.62	129.21	6.88		28.15	144.81	7.48		
1.27	01:00		22.41	120.25	6.22		25.48	137.40	7.10		30.21	153.98	7.93		
1.91	01:30		24.56	129.93	6.68		25.92	145.38	7.51		32.37	162.92	8.40		
2.54	02:00	70.31	26.57	137.91	7.13	10.34	30.21	153.98	7.93	11.27	34.55	171.78	8.58	-12.63	
3.81	03:00		38.52	175.89	8.09		41.62	201.78	10.43		48.96	224.49	11.60		
5.09	04:00	105.00	45.68	219.02	11.32	16.75	51.51	243.78	12.60	12.00	58.53	273.58	14.14	13.47	
6.35	05:00		47.34	238.06	11.69		53.67	251.83	13.07		60.47	281.79	14.57		
7.62	06:00		48.81	231.03	11.94		54.19	255.14	13.19		61.99	286.55	14.81		
8.84	07:00		49.63	235.78	12.19		55.44	260.44	13.46		62.60	290.83	15.03		
10.16	08:00		50.28	238.58	12.33		56.73	265.92	13.73		63.58	294.99	15.25		



INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL
FICP - CIVIL - UANCV

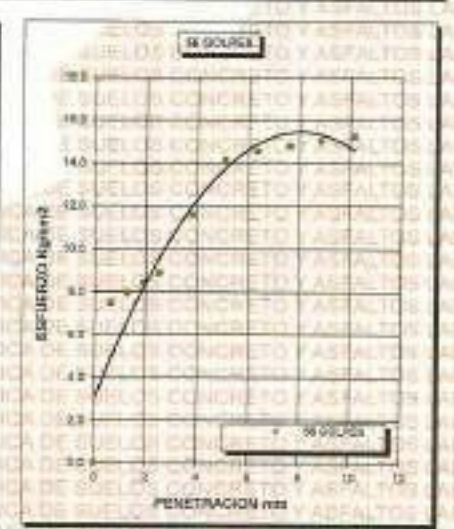
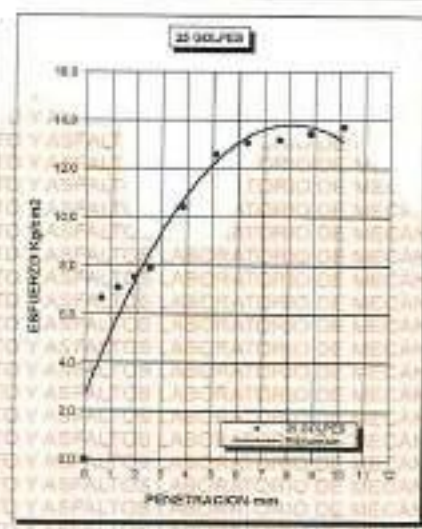
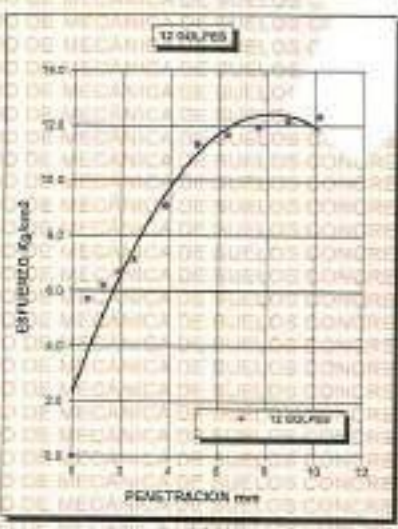
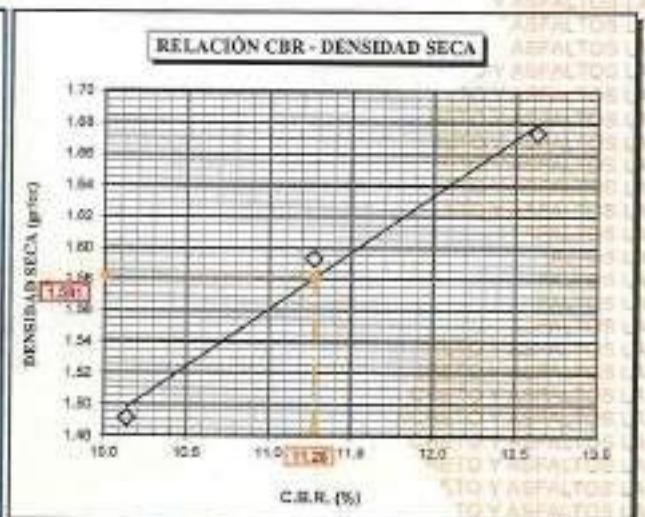
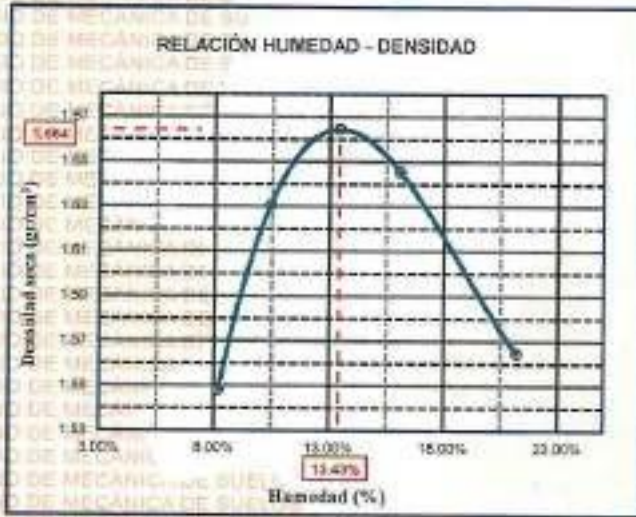
MSCA
JEFATURA
Mecánica de Suelos
Ing. Arnoldo Jara Torres
CIF: 193257



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



ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA		MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-81	
PROYECTO	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.664
SOLICITADO	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%)	13.43%
UBICACIÓN	KM 2+000 - 2+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	12.42
PROGRESIVA	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 8%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	11.28
MUESTRA		CLASIFICACIÓN :	CL
FECHA	13 DE MAYO DEL 2024	AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



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

[Signature]
Ing. Arnoldo Yata Torres
CIP: 111257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	: AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	: KM 2+000 - 2+400
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 8%
FECHA	: 14 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 936 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	5881	5882	5775	5678
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	1710	1731	1624	1527
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	1.828	1.850	1.738	1.632

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	298.34	270.44	200.55	202.64	164.68	167.12	188.56	186.28
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	247.71	232.01	175.29	179.66	151.75	154.27	187.02	177.35
Peso del Agua	gr.	40.63	38.43	24.26	23.18	12.93	12.85	12.54	11.93
Peso de la Capsula	gr.	19.07	24.43	18.75	24.79	21.61	18.12	22.69	22.11
Peso del Suelo Seco	gr.	228.64	207.58	156.54	154.87	129.14	136.15	164.33	155.24
% de Humedad	%	17.77%	18.51%	15.60%	14.97%	9.94%	9.44%	7.63%	7.68%
Promedio de Humedad	%	18.14%		15.28%		9.69%		7.66%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.547		1.606		1.583		1.616	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.621 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 12.99%



OFICINA DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
Ing. Arnoldo Yano Torres
13/05/24



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE : Bach. NELSON YAIR MAMANI SAGACA

UBICACIÓN : AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA

PROGRESIVA : KM 2+000 - 2+400

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 8%

FECHA : 14 DE MAYO DEL 2024.

MOLDE No	III		II		I	
	6		5		5	
No DE CAPAS						
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

	gr.	10280	11300	10953	11790	10375	11018
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6795	6795	7298	7298	6606	6606
Peso del Molde	gr.	3493	4510	3885	4492	3769	4412
Peso del Suelo Humedo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.880	2.143	1.744	2.137	1.756	2.104

Capsula No	No	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	224.32	373.16	240.89	403.20	227.81	350.85
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	201.58	312.77	215.01	341.72	211.32	330.70
Peso del Agua	gr.	22.74	60.39	24.88	61.61	16.50	53.19
Peso de la Capsula	gr.	37.41	69.92	38.94	70.11	38.59	67.47
Peso del Suelo Seco	gr.	164.17	242.85	176.07	271.61	172.43	263.23
% de Humedad	%	13.85%	24.87%	14.13%	22.68%	9.60%	20.20%
Promedio de Humedad	%	13.85%	24.87%	14.13%	22.68%	9.60%	20.20%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.458	1.716	1.528	1.742	1.640	1.751

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/09/2023	08:25 a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/09/2023	08:25 a.m.	24:00:00	0.148	3.683	2.83	0.104	2.642	2.10	0.070	1.905	1.51
20/09/2023	08:25 a.m.	48:00:00	0.234	5.944	4.72	0.225	5.715	4.54	0.145	3.708	2.95
21/09/2023	08:25 a.m.	72:00:00	0.315	8.001	6.38	0.280	7.112	5.65	0.180	4.064	3.23
22/09/2023	08:25 a.m.	96:00:00	0.338	8.585	6.82	0.298	7.599	6.01	0.205	5.207	4.14

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES					
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.		
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		28.11	144.44	7.67		32.31	162.27	8.36		37.55	184.51	9.54			
1.27	01:00		30.27	153.61	7.94		34.44	171.31	8.86		39.47	192.69	9.95			
1.91	01:30		32.56	163.29	8.44		36.98	180.82	9.35		41.23	200.13	10.36			
2.54	02:00	70.31	35.00	177.21	9.16	13.00	39.04	194.23	10.04	14.28	44.15	212.02	10.96	15.83		
3.01	03:00		47.85	227.36	11.75		52.62	248.47	12.84		58.32	272.67	14.09			
5.09	04:00	105.00	60.32	281.16	14.53	13.84	66.02	300.35	15.78	15.53	72.62	333.98	17.23	18.41		
6.35	05:00		62.43	290.11	15.00		68.24	314.77	16.27		74.38	343.83	17.82			
7.62	06:00		63.87	296.22	15.31		69.55	320.93	16.58		75.12	343.87	17.78			
8.84	07:00		65.21	301.01	15.61		70.70	325.21	16.81		76.57	350.13	18.10			
10.16	08:00		66.48	307.30	15.69		71.50	328.74	16.89		77.50	354.88	18.34			

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

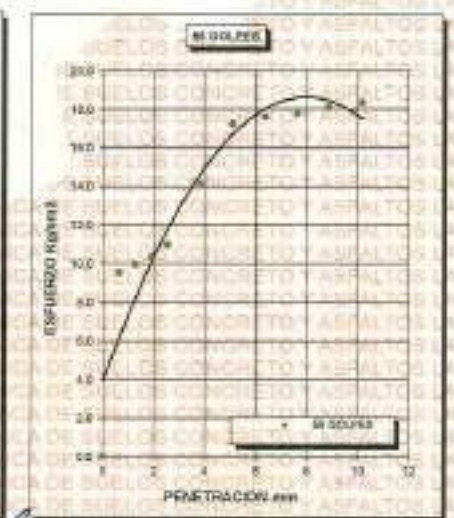
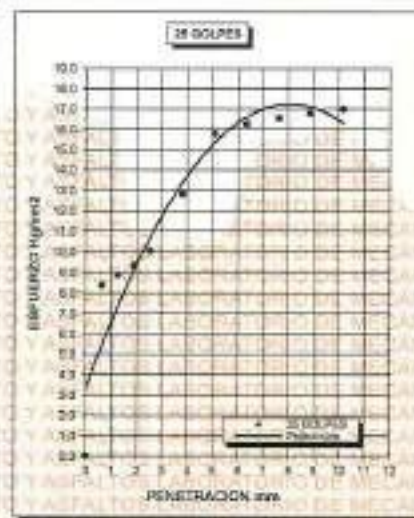
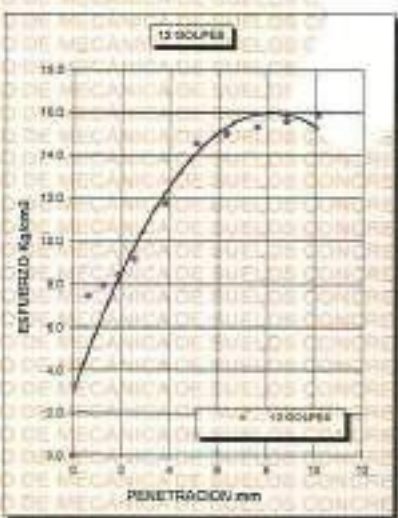
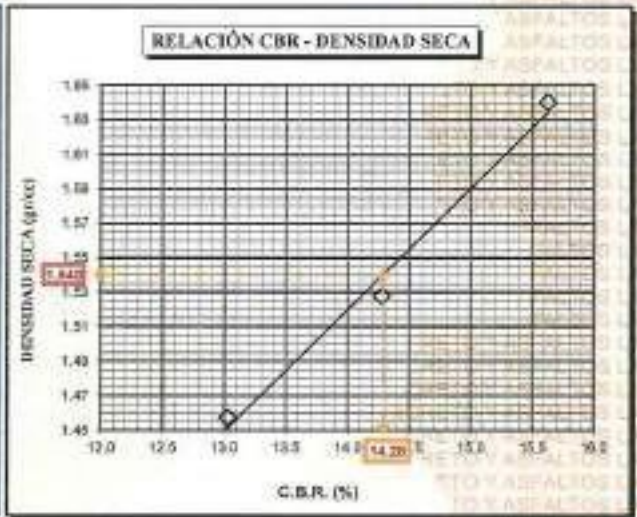
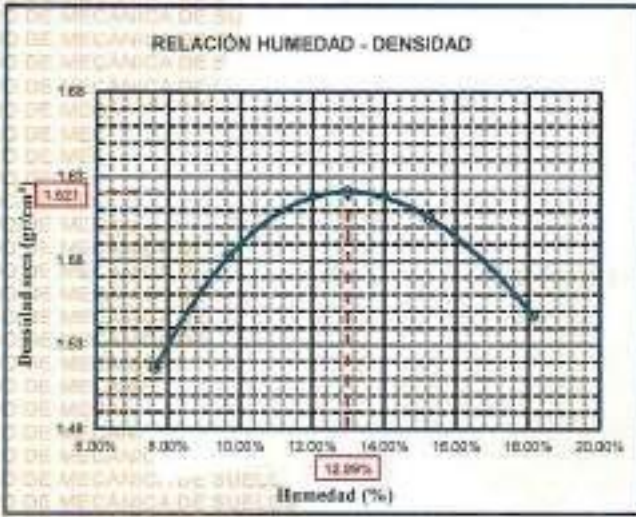
[Firma]
Ing. Rodrigo Torres
CIP 170257



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 :	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.621
UBICACIÓN :	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%)	12.99%
PROGRESIVA :	KM 2+000 - 2+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	15.42
MUESTRA :	GALICATA 1 - MUESTRA 1 + CONCHAS MARINAS 5%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	14.28
FECHA :	14 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL
FCP - CALIFICADO
Ing. Arnaldo Yana Torres
CIP: 003257



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



PROYECTO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA.

SOLICITANTE

Ing. Nelson Yair Mamani Sacaca

LUGAR

AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA

PROGRESIVA

1+KM 2+000 - 2+400

MUESTRA

1 CALICATA 1 - MUESTRA 1 + ÓXIDO DE CALCIO 4%

FECHA

15 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	92.30
SUELO SECO + TARRO	gr	86.72
PESO DEL TARRO	gr	28.81
PESO DEL AGUA	gr	5.58
PESO DEL SUELO SECO	gr	57.91
HUMEDAD %	%	9.64

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO Nº		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	32.27	32.32	34.06
SUELO SECO + TARRO	gr	31.09	31.15	32.11
PESO DEL TARRO	gr	26.79	27.62	26.36
PESO DEL AGUA	gr	1.18	1.17	1.95
PESO DEL SUELO SECO	gr	4.30	3.53	5.75
HUMEDAD %	%	27.44	33.14	33.91
Nº DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

	T-14	T-15
	25.32	24.59
	24.47	23.71
	19.32	19.25
	0.85	0.88
	5.15	4.46
	16.50	19.73

LÍMITE LÍQUIDO % : 30.92

LÍMITE PLÁSTICO % : 18.12

ÍNDICE PLÁSTICO % 12.80

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

WICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 ECP - CAC - JULIACA

 Mr. Arnoldo Tena Torres
 CIP 108292



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

- ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE

- Bach: NELSON YAIR MAMAN SACACA

LUGAR

- AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA

PROGRESIVA

- KM 3+000 - 2+400

MUESTRA

- CALZADA 1 - MUESTRA 1 + OXIDO DE CALCIO 8%

FECHA

- 15 DE MAYO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	91.72
SUELO SECO + TARRO	gr	86.14
PESO DEL TARRO	gr	25.98
PESO DEL AGUA	gr	5.58
PESO DEL SUELO SECO	gr	60.16
HUMEDAD %	%	9.28

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	31.28	32.15	31.67
SUELO SECO + TARRO	gr	29.75	30.35	29.95
PESO DEL TARRO	gr	23.65	24.58	23.98
PESO DEL AGUA	gr	1.53	1.80	1.72
PESO DEL SUELO SECO	gr	6.10	5.77	6.87
HUMEDAD %	%	25.08	31.20	28.81
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

	T-14	T-15
	20.48	21.16
	19.22	19.62
	12.36	12.52
	1.26	1.54
	6.86	7.10
	18.37	21.69

LÍMITE LIQUIDO % : 27.88

LÍMITE PLASTICO % : 20.03

ÍNDICE PLÁSTICO % 07.85

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 Mtro. Arnoldo Jara Torres
 C.P. 101004



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	: AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	: KM 0+300
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + ÓXIDO DE CALCIO 4%
FECHA	: 16 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 936 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	8042	8071	8018	8688
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1891	1920	1867	1737
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	2.021	2.052	1.898	1.857

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	306.23	308.70	195.77	187.89	220.69	228.51	221.45	225.66
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	258.19	253.31	166.85	169.59	195.13	195.17	196.28	203.50
Peso del Agua	gr.	47.04	45.45	28.92	37.90	25.45	25.34	23.20	22.53
Peso de la Capsula	gr.	70.23	70.98	38.45	39.94	33.07	35.01	35.07	34.82
Peso del Suelo Seco	gr.	188.96	182.33	128.40	129.05	160.06	164.16	162.42	168.51
% de Humedad	%	24.89%	24.16%	22.52%	23.24%	15.90%	18.05%	14.28%	13.37%
Promedio de Humedad	%	24.82%		22.88%		16.67%		13.83%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.623		1.670		1.721		1.631	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.748 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 18.22%



INVESTIGADOR RESPONSABLE
FCF - CAP. INGENIERÍA CIVIL
Mgtr. Arnoldo Vera 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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACAÇA
UBICACIÓN	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	KM 0+500
MUESTRA	CALICATA 1- MUESTRA 1+ ÓXIDO DE CALCIO 4%
FECHA	16 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No		III		II		I
No DE CAPAS		5		5		5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		12		25		56
CONDICIONES DE LA MUESTRA		SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10877	11861	10899	11515	11521	12058
Peso del Molde	gr.	6976	6976	6612	6612	7296	7296
Peso del Suelo Humedo	gr.	3901	4885	4087	4903	4225	4762
Volúmen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2098.50	2098.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.853	2.321	1.944	2.333	2.015	2.271

Capsula No	No	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	301.26	303.12	295.10	413.98	321.10	373.45
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	283.06	242.18	257.55	335.85	283.23	312.05
Peso del Agua	gr.	39.20	60.94	37.55	78.10	35.87	60.80
Peso de la Capsula	gr.	37.46	38.81	39.94	67.46	38.72	70.12
Peso del Suelo Seco	gr.	225.90	203.37	217.61	268.38	240.51	242.53
% de Humedad	%	16.90%	29.97%	17.26%	29.10%	14.88%	25.07%
Promedio de Humedad	%	16.93%	29.97%	17.26%	29.10%	14.88%	25.07%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.585	1.786	1.658	1.807	1.759	1.816

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
19/09/2023	08:25 a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/09/2023	08:25 a.m.	24:00:00	0.150	3.810	3.03	0.110	2.794	2.22	0.132	3.353	2.66
20/09/2023	08:26 a.m.	48:00:00	0.312	7.925	6.30	0.352	8.941	7.10	0.266	6.731	5.35
21/09/2023	08:26 a.m.	72:00:00	0.365	9.271	7.36	0.362	9.196	7.30	0.299	7.590	6.03
22/09/2023	08:26 a.m.	96:00:00	0.409	10.389	8.25	0.375	9.525	7.57	0.308	7.829	6.21

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES				
			Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	
0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.63	00:30		9.69	65.68	3.41	12.37	77.64	4.01	16.12	102.94	5.27				
1.27	01:00		10.62	70.21	3.93	13.32	81.67	4.22	19.79	108.96	5.83				
1.91	01:30		11.55	74.16	3.83	14.15	86.19	4.40	18.26	106.88	5.82				
2.54	02:00	70.31	12.89	78.69	4.13	5.87	95.61	4.84	7.03	21.72	117.32	6.06	6.63		
3.81	03:00		16.23	102.51	5.30	24.32	128.95	6.84	20.15	148.86	7.66				
5.09	04:00	105.00	25.84	134.81	6.97	6.64	32.91	164.82	8.52	6.11	37.61	185.61	9.59	6.14	
6.35	05:00		26.54	137.79	7.12	33.62	167.83	8.69	36.68	189.31	9.79				
7.62	06:00		27.46	141.66	7.32	34.55	173.05	8.95	39.65	193.42	10.00				
8.84	07:00		28.95	148.61	7.65	35.36	176.21	9.06	40.74	198.05	10.24				
10.16	08:00		29.03	150.89	7.80	36.45	179.84	9.30	41.80	202.70	10.46				



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 VICERRECTORA
 Mery Armas Yana Torres



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

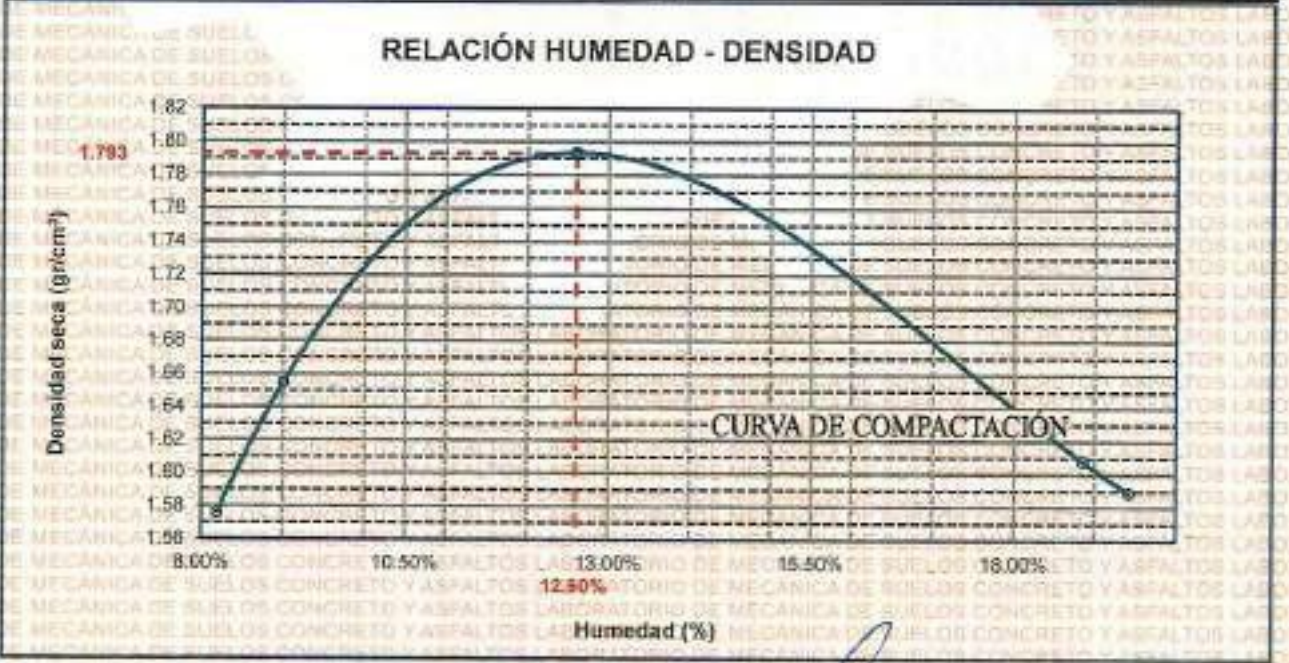
TESIS	: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	: AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	: KM 2+000 - 2+400
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + ÓXIDO DE CALCIO 8%
FECHA	: 17 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 936 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5926	5939	5938	5746
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1775	1788	1687	1595
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.897	1.911	1.803	1.705

Capsula No	No	SUP.		INF.		SUP.		INF.	
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	292.34	298.44	224.66	209.29	168.30	173.16	201.89	191.69
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	253.93	238.11	196.09	180.36	158.26	160.77	199.77	179.79
Peso del Agua	gr.	38.41	30.33	28.57	28.93	10.04	12.39	12.12	11.90
Peso de la Capsula	gr.	70.12	89.14	35.08	35.99	35.09	35.05	36.79	37.41
Peso del Suelo Seco	gr.	183.81	169.97	161.01	144.47	123.17	125.72	150.98	142.38
% de Humedad	%	20.90%	17.95%	17.68%	20.02%	8.15%	9.86%	8.03%	8.98%
Promedio de Humedad	%	19.42%		18.85%		9.08%		8.19%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.589		1.608		1.654		1.576	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.793 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 12.50%



M. Sc. NELSON YAIR MAMANI SACACA
 INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL
 FCP - CAPACITACIÓN TÉCNICA



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE:	Bach. NELSON YAR MAMANI SACACA
UBICACIÓN:	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA:	KM 2+000 - 2+400
MUESTRA:	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + ÓXIDO DE CALCIO 8%
FECHA:	17 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	II		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		50	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10713	11597	10714	11349	11184	11630
Peso del Molde	gr.	6833	6833	6696	6605	7066	7066
Peso del Suelo Humedo	gr.	3880	4764	4018	4854	4118	4562
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.81	2101.81	2066.50	2066.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.843	2.263	1.912	2.214	1.983	2.176

Capsula No	No.	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	422.23	404.96	254.02	427.41	211.48	424.45
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	363.98	333.43	238.71	356.95	189.08	358.89
Peso del Agua	gr.	58.24	71.11	25.31	71.89	13.39	65.57
Peso de la Capsula	gr.	69.82	69.93	38.79	68.74	38.46	68.17
Peso del Suelo Seco	gr.	314.16	263.52	199.52	288.81	150.63	290.71
% de Humedad	%	12.17%	26.98%	12.66%	25.07%	8.39%	22.56%
Promedio de Humedad	%	12.17%	26.98%	12.66%	25.07%	8.39%	22.56%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.643	1.782	1.697	1.770	1.811	1.776

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/09/2023	08:25 a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/09/2023	08:25 a.m.	24:00:00	0.235	5.969	4.74	0.215	5.481	4.34	0.148	3.708	2.95
20/09/2023	08:25 a.m.	48:00:00	0.280	7.112	5.65	0.272	6.909	5.49	0.190	4.826	3.83
21/09/2023	08:25 a.m.	72:00:00	0.332	8.433	6.70	0.315	8.001	6.39	0.225	5.715	4.54
22/09/2023	08:25 a.m.	96:00:00	0.380	9.652	7.67	0.345	8.763	6.90	0.265	6.731	5.35

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES					
			Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.		
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		18.89	96.89	3.95		21.28	115.45	5.97		26.15	131.88	6.82			
1.27	01:00		18.79	104.72	6.41		23.99	126.79	6.95		27.53	141.99	7.34			
1.91	01:30		18.54	108.07	6.59		24.36	131.07	6.78		29.32	149.58	7.73			
2.54	02:00	70.31	21.73	117.38	6.07	8.83	26.29	136.65	7.05	-0.03	30.99	156.54	8.09	11.51		
3.81	03:00		29.52	160.85	7.90		35.42	175.47	9.07		41.82	201.78	10.43			
5.09	04:00	105.00	38.88	190.07	9.03	9.38	45.86	219.78	11.36	10.82	52.95	249.87	12.92	12.30		
6.35	05:00		40.85	197.87	10.22		47.42	227.25	11.25		54.88	269.41	13.38			
7.62	06:00		41.85	202.70	10.48		48.82	231.80	11.87		55.05	261.33	13.51			
8.84	07:00		42.25	204.45	10.57		50.85	240.24	12.42		59.96	286.89	13.00			
10.15	08:00		43.96	211.72	10.94		51.25	242.78	12.55		59.74	274.45	14.19			

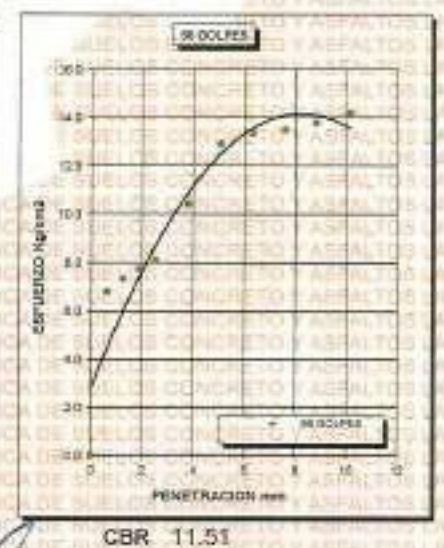
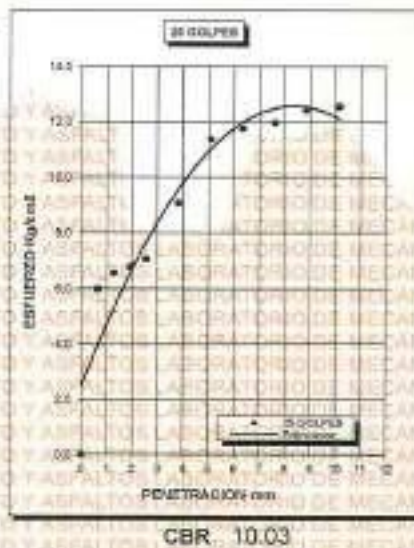
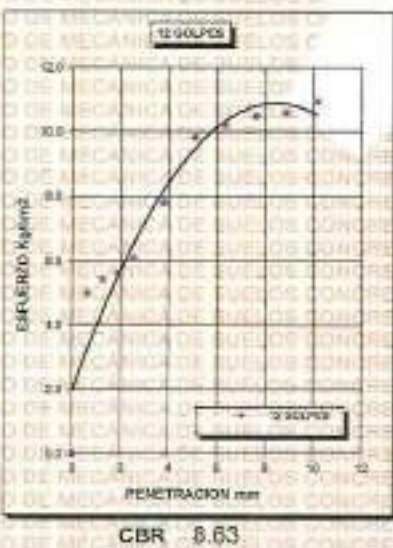
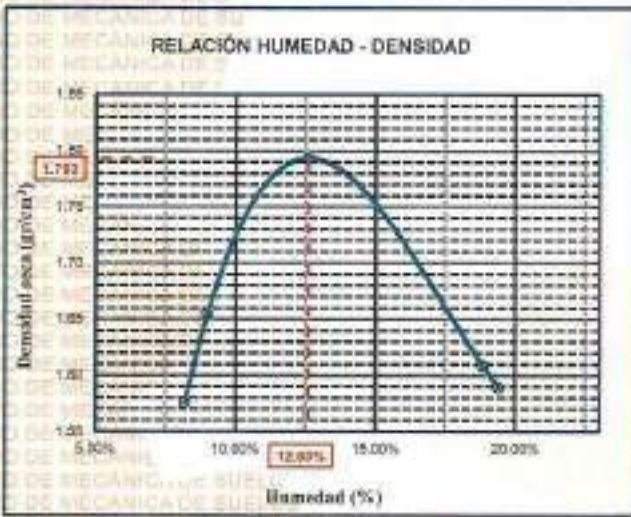

 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 OFICINA DE INVESTIGACIÓN
 Lic. Donaldo Yar Mamani Sacaca



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 : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA.	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.793
UBICACIÓN : AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) 12.60%
PROGRESIVA : KM 2+000 - 2+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 11.52
MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + ÓXIDO DE CALCIO 8%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 9.79
FECHA : 17 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
	AASHTO : A-2
	EMBEBIDO : 4 DIAS



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

[Signature]
Ing. Arnoldo Tena Torres
CIP 109357



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	: BACH. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	: AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	: KM 02+000 - 2+400
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + ÓXIDO DE CALCIO 12%
FECHA	: 20 DE MAYO DEL 2024

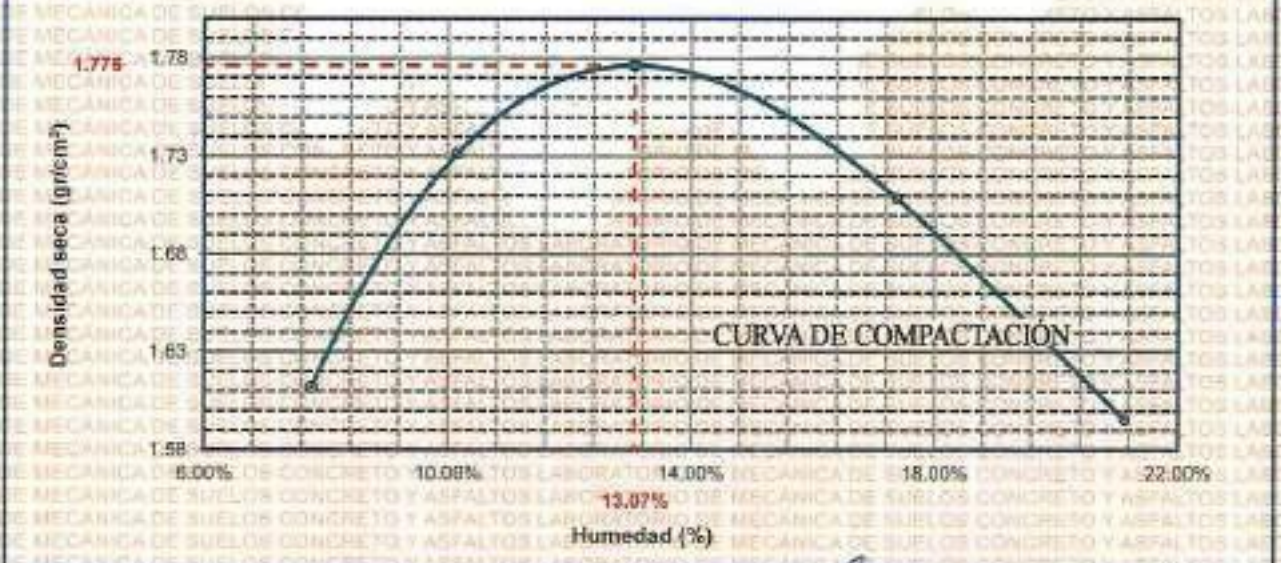
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 938 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5959	6027	5935	5776
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1808	1876	1784	1625
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.933	2.005	1.907	1.737

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	285.34	257.44	201.55	204.29	165.22	167.96	200.05	189.29
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	245.71	233.11	177.29	180.06	152.79	155.27	188.02	178.36
Peso del Agua	gr.	37.63	24.33	24.26	24.23	12.47	11.69	12.04	10.93
Peso de la Capsula	gr.	70.12	70.97	38.44	39.92	35.06	35.87	35.96	34.80
Peso del Suelo Seco	gr.	178.59	162.14	138.85	140.14	117.69	120.40	152.18	143.56
% de Humedad	%	21.07%	21.17%	17.47%	17.29%	10.60%	8.71%	7.91%	7.61%
Promedio de Humedad	%	21.12%		17.38%		10.15%		7.76%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.596		1.708		1.731		1.612	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.776 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 13.07%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



INSTITUCIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
N. SACACA
MAMANI



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS :	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE :	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN :	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA :	KM 02+000 - 2+400
MUESTRA :	CALICATA 1- MUESTRA 1 + OXIDO DE CALCIO 12%
FECHA :	20 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No		III		II		I	
No DE CAPAS		5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA		SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10821	11305	11174	11790	10693	11018
Peso del Molde	gr.	6756	6756	7295	7295	6601	6601
Peso del Suelo Humedo	gr.	3965	4549	3879	4495	4092	4417
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2098.50	2098.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.836	2.161	1.845	2.139	1.952	2.107

Capsula No	No	SIN SATURAR	NATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	224.31	374.15	234.62	404.32	227.06	394.87
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	302.57	313.76	218.12	342.71	311.98	331.69
Peso del Agua	gr.	21.74	60.39	16.50	61.61	15.08	63.18
Peso de la Capsula	gr.	37.41	69.92	39.94	70.11	38.89	67.47
Peso del Suelo Seco	gr.	165.16	243.84	178.18	272.60	173.09	264.22
% de Humedad	%	13.16%	24.77%	9.26%	22.60%	8.71%	20.13%
Promedio de Humedad	%	13.16%	24.77%	9.26%	22.60%	8.71%	20.13%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.623	1.732	1.689	1.744	1.795	1.754

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/09/2023	08:25: a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	0.142	3.607	2.87	0.068	2.499	1.98	0.088	2.235	1.78
20/09/2023	08:26: a.m.	48:00:00	0.230	5.842	4.84	0.223	5.694	4.50	0.138	3.505	2.78
21/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	0.312	7.925	6.30	0.281	7.157	5.67	0.155	3.937	3.13
22/09/2023	08:26: a.m.	96:00:00	0.338	8.609	6.78	0.292	7.417	5.89	0.161	4.089	3.25

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES				
			Dial	Kg	Kp/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kp/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kp/cm2	Correc.	
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.63	00:30		12.98	80.22	4.15	17.62	99.92	5.17	22.62	121.14	6.28				
1.27	01:00		14.79	87.91	4.54	19.21	106.67	6.61	24.99	129.46	6.89				
1.91	01:30		15.65	91.56	4.73	20.62	112.65	6.82	25.65	134.00	6.93				
2.54	02:00	70.31	17.82	106.77	5.21	22.37	120.66	6.21	28.83	138.93	7.18	10.21			
3.81	03:00		24.62	129.65	6.79	31.55	180.32	8.25	36.60	180.48	9.33				
5.09	04:00	105.00	32.83	164.48	8.90	40.52	197.12	10.19	47.97	224.56	11.51	11.56			
6.35	05:00		34.51	172.03	8.89	42.62	206.03	10.85	48.85	232.47	12.02				
7.62	06:00		45.12	216.94	11.20	43.62	210.27	10.87	48.88	236.78	12.24				
8.84	07:00		46.06	220.99	11.40	44.30	213.45	11.02	50.92	236.98	12.41				
10.16	08:00		47.59	227.51	11.78	45.32	217.49	11.24	51.95	245.63	12.70				



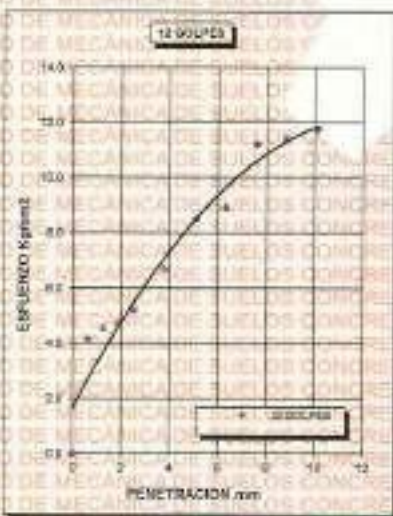
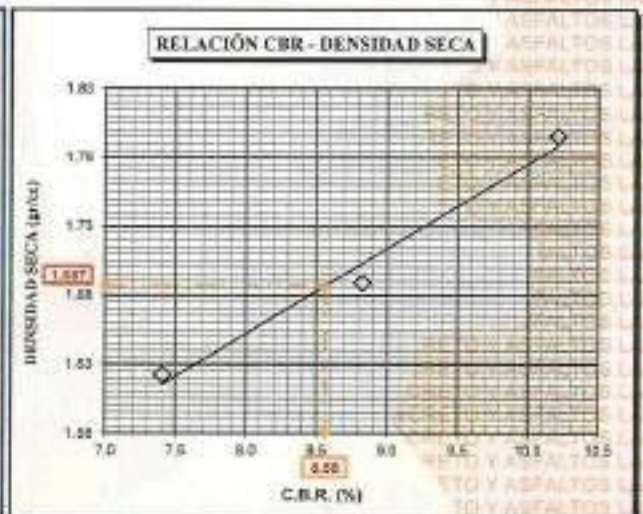
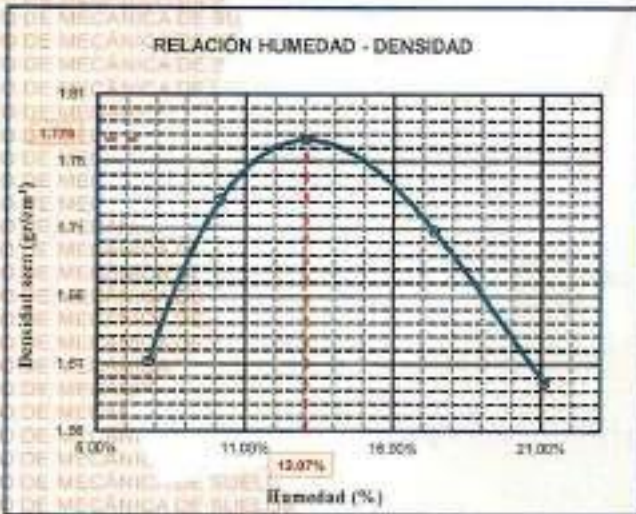
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - C.A. 101010101
Ing. Arnoldo Vique Flores



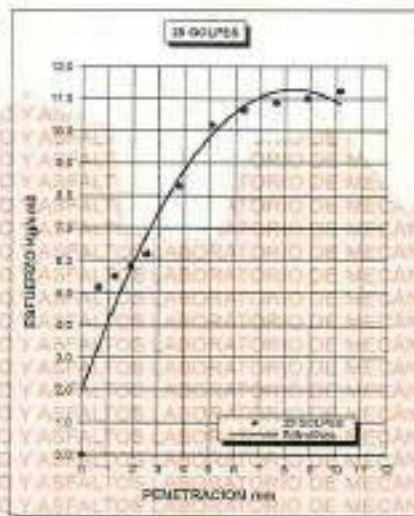
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



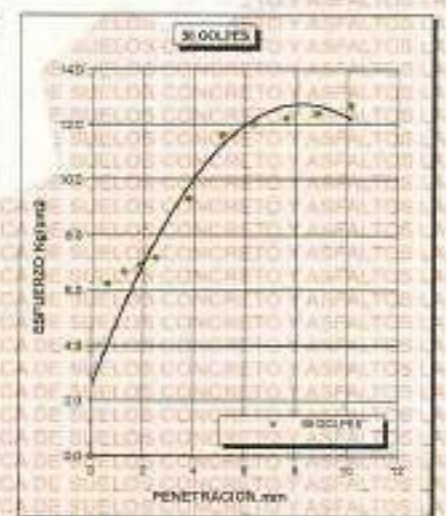
PROYECTO :	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA.	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	Bach. NELSON YAIR MAMANI SAGACA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.776
UBICACIÓN :	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%)	13.07%
PROGRESIVA :	KM 02+000 - 2+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	10.02
MUESTRA :	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + ÓXIDO DE CALCIO 12%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	8.58
FECHA :	20 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 7.41



CBR 8.83



CBR 10.21

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
MAMANI SAGACA, NELSON YAIR
INGENIERÍA CIVIL
MAYO 2024



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

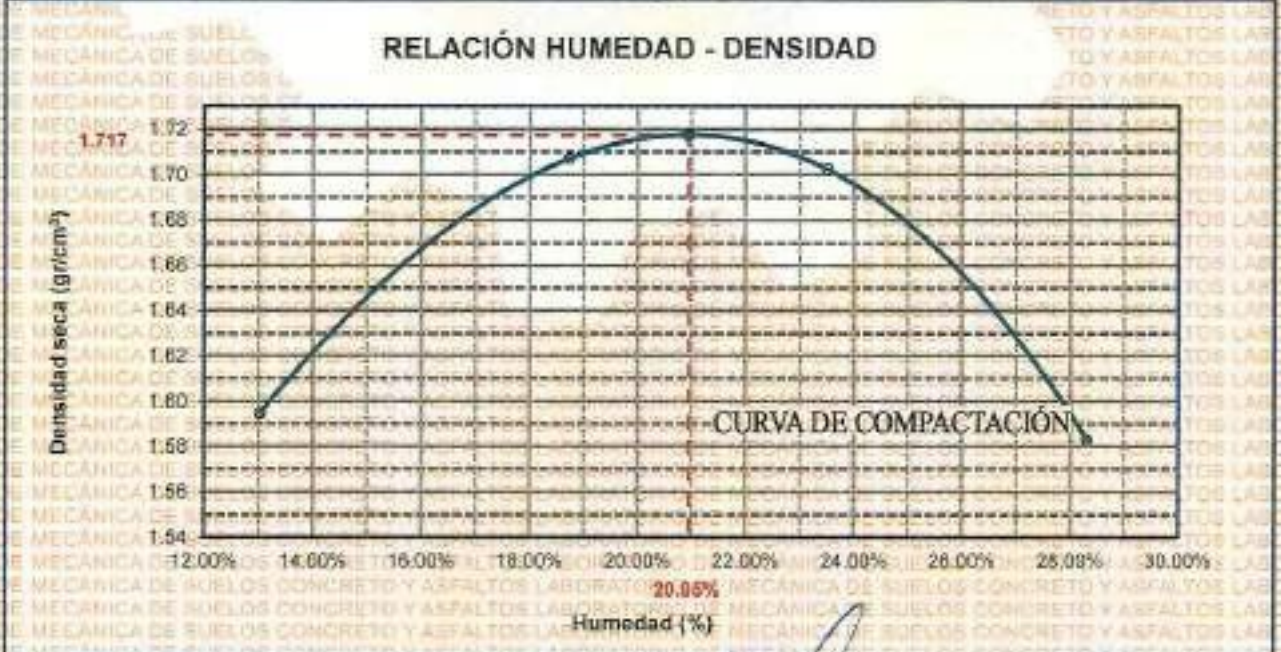
TESIS	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	KM 2+000 - 2+400
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1
FECHA	07 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	938 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6051	6118	6047	5837
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1900	1967	1896	1686
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	2.031	2.103	2.027	1.802

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	70.23	73.23	84.95	90.75	80.57	91.82	93.67	89.19
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	58.95	62.48	71.05	79.07	72.05	82.34	84.21	82.71
Peso del Agua	gr.	11.27	10.75	13.90	11.68	11.52	9.48	9.46	6.48
Peso de la Capsula	gr.	19.37	24.32	19.83	24.03	21.23	18.27	22.85	22.01
Peso del Suelo Seco	gr.	39.58	38.16	51.23	55.64	50.83	64.07	61.36	60.70
% de Humedad	%	28.47%	28.17%	27.11%	19.91%	22.68%	14.93%	15.37%	10.68%
Promedio de Humedad	%	28.32%		23.51%		18.73%		13.02%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.583		1.762		1.707		1.596	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.717 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 20.95%




 Ing. Nelson Yair Mamani Sacaca
 Oficina de Investigación



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA
SOLICITANTE	Gadh- NELSON YAIR MAMANI SACACA
UBICACIÓN	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA
PROGRESIVA	KM 2+000 - 2+800
MUESTRA	CALCATA 1 - MUESTRA 1
FECHA	07 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	II	II	I
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
			SATURADO
			SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10574	11563	10848	11843	11054	11638
Peso del Molde	gr.	6697	6697	6793	6793	6858	6553
Peso del Suelo Humedo	gr.	3877	4858	4055	4850	4408	4580
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.81	2101.81	2098.50	2098.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.842	2.307	1.929	2.307	2.102	2.375

Capcula No	No	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	154.32	303.91	155.88	476.72	184.22	390.45
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	142.87	234.81	137.33	378.55	141.33	296.68
Peso de la Agua	gr.	11.45	69.30	18.55	98.17	22.89	93.77
Peso de la Capsula	gr.	68.27	38.72	35.61	70.88	35.12	69.38
Peso del Suelo Seco	gr.	74.60	195.89	101.72	307.57	105.21	227.90
% de Humedad	%	15.36%	35.38%	18.24%	31.92%	21.76%	26.30%
Promedio de Humedad	%	15.36%	35.38%	18.24%	31.92%	21.76%	26.30%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.697	1.704	1.632	1.748	1.728	1.881

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/06/2023	08:25 a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/06/2023	08:25 a.m.	24:00:00	0.075	1.905	1.51	0.056	1.897	-1.11	0.040	1.018	0.81
20/06/2023	08:25 a.m.	48:00:00	0.106	2.892	2.14	0.073	1.894	-1.47	0.065	1.651	1.31
21/06/2023	08:28 a.m.	72:00:00	0.145	3.883	2.93	0.132	3.353	-2.66	0.108	2.743	2.18
22/06/2023	08:28 a.m.	96:00:00	0.192	4.877	3.67	0.170	4.318	-3.43	0.147	3.734	2.97

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES				
			Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.63	00:30		0.02	25.22	1.30		0.68	28.02	1.45		3.78	41.18	2.13		
1.27	01:00		0.06	35.39	1.91		1.15	30.01	1.65		4.83	45.99	2.36		
1.91	01:30		0.09	25.51	1.32		2.01	30.86	1.74		5.94	50.34	2.60		
2.54	02:00	70.31	0.12	25.64	1.33	1.89	3.07	38.99	1.87	2.81	7.78	66.15	3.01	4.28	
3.81	03:00		2.47	34.62	1.84		6.75	59.78	2.78		12.15	75.70	3.98		
5.09	04:00	105.00	4.95	45.76	2.37	2.25	11.28	79.01	3.77	3.99	19.05	101.74	5.28	5.01	
6.35	05:00		5.27	47.50	2.46		12.80	78.49	4.11		19.86	100.12	5.49		
7.62	06:00		6.21	51.91	2.88		13.83	83.83	4.33		20.44	111.89	5.78		
8.84	07:00		7.25	36.33	2.01		14.95	88.16	4.56		21.74	117.41	6.07		
10.16	08:00		8.40	80.79	3.14		15.51	82.69	4.79		22.63	122.03	6.31		

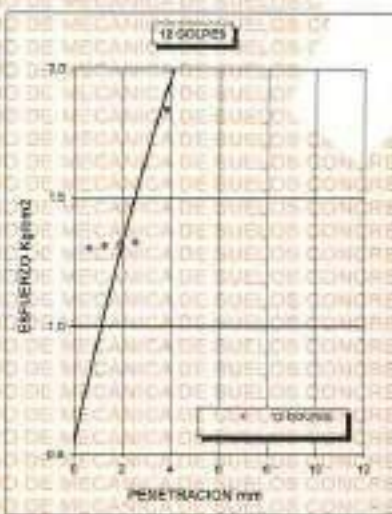
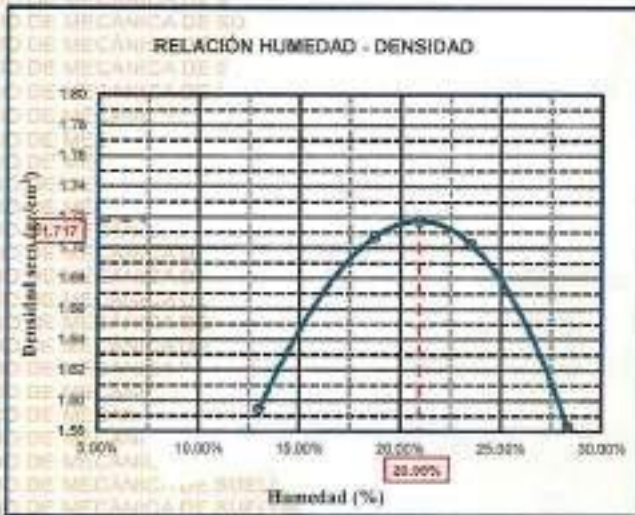

 Ing. Nelson Yair Mamani Sacaca
 INGENIERO CIVIL



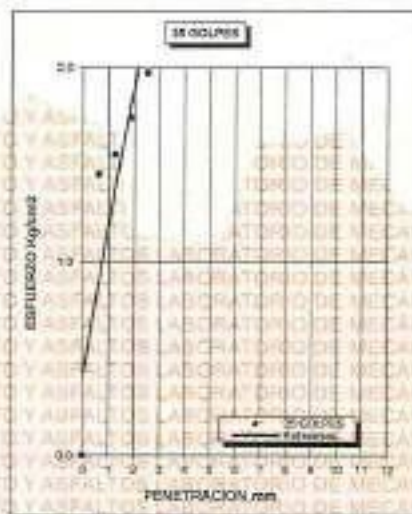
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



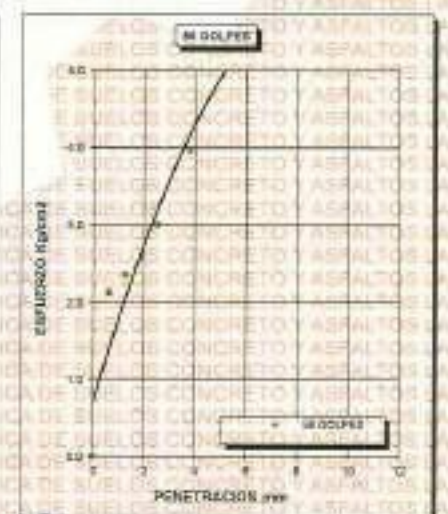
PROYECTO :	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA	METODO DE COMPACTACIÓN :	ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach NELSON YAIR MAMANI SACACA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1.717
UBICACIÓN :	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) :	20.95%
PROGRESIVA :	KM 2+000 - 2+400	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) :	4.19
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M1	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) :	2.61
FECHA :	07 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 1.89



CBR 2.81



CBR 4.28

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 OFICINA DE INVESTIGACIÓN
 Ing. Ramiro José Torres
 CIP 10277



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

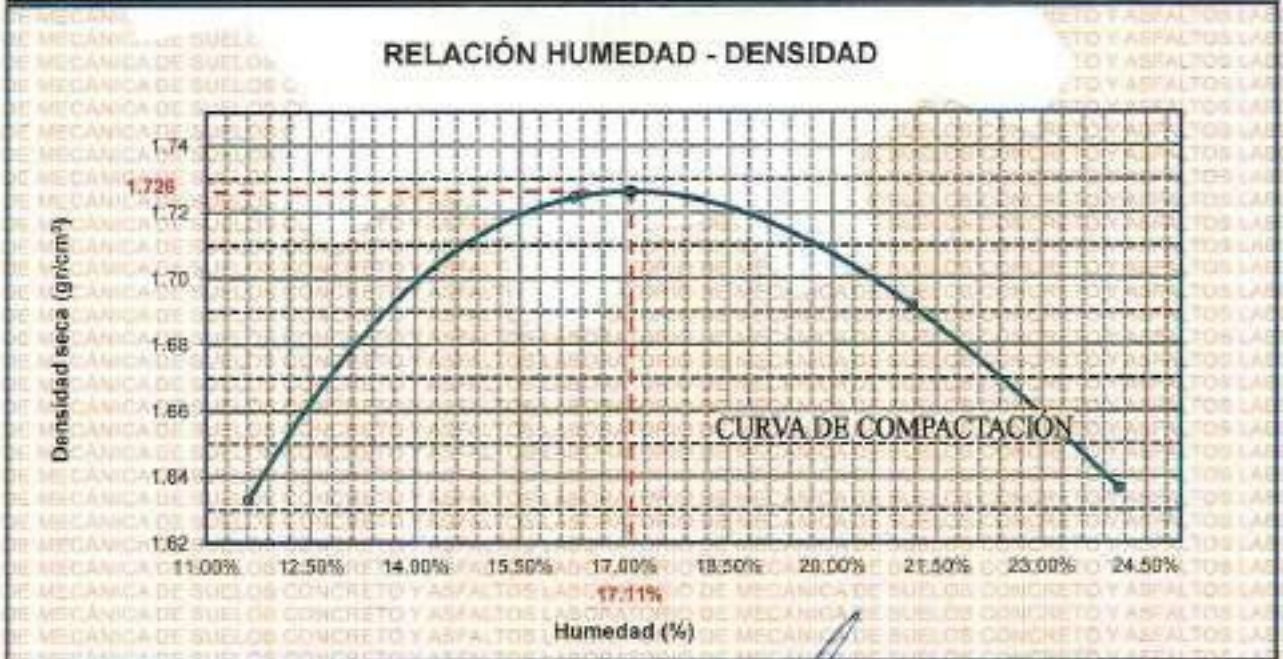
TESIS	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULACA
SOLICITANTE	Bach. NELSON YAIR MAMANI-SACACA
UBICACIÓN	AVENIDA FERROCARRIL - JULACA
PROGRESIVA	KM 2+600 - 2+650
MUESTRA	CALCATA 2 - MUESTRA 2
FECHA	07 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	936 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6051	6088	6027	5856
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1800	1917	1876	1705
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	2.031	2.049	2.005	1.923

Capsula No	No	SUP.		INF.		SUP.		INF.	
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	69.33	74.63	83.41	82.38	81.97	84.95	91.48	91.36
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	59.80	64.91	72.87	80.24	73.48	84.12	86.34	89.22
Peso del Agua	gr.	9.53	9.92	10.74	12.14	8.51	10.54	8.14	8.14
Peso de la Capsula	gr.	19.21	24.62	19.88	24.87	22.05	18.37	23.00	22.35
Peso del Suelo Seco	gr.	40.59	40.09	52.78	55.37	51.41	65.75	62.34	66.87
% de Humedad	%	23.48%	24.74%	20.35%	21.93%	16.55%	19.03%	9.85%	13.37%
Promedio de Humedad	%	24.11%		21.14%		16.29%		11.61%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.636		1.692		1.724		1.633	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.728 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	17.11%



Nelson Yair Mamani-Sacaca
 Ingeniero Civil



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE : Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA

UBICACIÓN : AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA

PROGRESIVA : KM 2+900 - 2+950

MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA : 07 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molds	gr.	10882	10803	10828	10852	11094	11190
Peso del Molde	gr.	6598	6698	6833	6833	6652	6832
Peso del Suelo Humedo	gr.	3884	4105	3998	4029	4262	4358
Volume del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2098.50	2098.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.845	1.960	1.901	1.917	2.033	2.079

Capsula No	No	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	183.82	302.68	157.42	477.88	189.48	385.40
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	139.27	233.31	129.05	377.35	145.02	298.58
Peso del Agua	gr.	14.55	69.35	28.37	100.35	16.46	86.87
Peso de la Capsula	gr.	68.32	39.80	39.38	71.09	36.11	69.27
Peso del Suelo Seco	gr.	70.95	193.51	89.68	306.24	108.91	327.28
% de Humedad	%	20.51%	35.84%	31.64%	32.77%	14.20%	25.90%
Promedio de Humedad	%	20.51%	35.84%	31.64%	32.77%	14.20%	25.90%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.531	1.438	1.444	1.444	1.780	1.661

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial			Expansion			Dial			Expansion		
			mm	%		mm	%		mm	%		mm	%	
18/08/2023	08:25 a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0	0	0	
19/08/2023	08:25 a.m.	24:00:00	0.088	2.184	1.74	0.093	1.600	1.27	0.045	1.143	0.91			
20/08/2023	08:25 a.m.	48:00:00	0.115	2.921	2.32	0.095	2.419	1.92	0.082	2.089	1.65			
21/08/2023	08:25 a.m.	72:00:00	0.154	3.912	3.11	0.130	3.302	2.62	0.120	3.048	2.42			
22/08/2023	08:25 a.m.	96:00:00	0.197	5.004	3.88	0.177	4.498	3.57	0.160	4.064	3.23			

PENETRACION

Penetración (mm)	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
			Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		
0.63	00:30		0.11	25.00	1.32		1.36	31.84	1.65		5.58	48.62	2.52	
1.27	01:00		0.39	25.79	1.36		2.08	33.96	1.76		8.83	53.27	2.75	
1.91	01:30		0.62	27.78	1.44		2.75	36.90	1.90		7.72	57.90	2.98	
2.54	02:00	70.31	1.14	29.67	1.55	2.20	3.85	40.62	2.10	2.90	8.83	60.49	3.13	
3.81	03:00		3.12	38.37	1.98		7.08	57.31	2.90		19.27	81.46	4.21	
5.09	04:00	105.00	5.66	90.00	2.56	2.45	12.15	75.70	3.98	3.78	19.12	106.20	5.48	
6.35	05:00		6.74	53.74	2.78		13.22	81.24	4.20		20.39	111.88	5.77	
7.62	06:00		7.28	55.95	2.88		13.95	84.34	4.36		20.87	113.71	5.88	
8.84	07:00		7.97	58.95	3.05		14.62	88.03	4.55		21.16	114.90	5.94	
10.16	08:00		8.92	62.99	3.28		15.71	91.81	4.75		21.93	118.21	6.11	

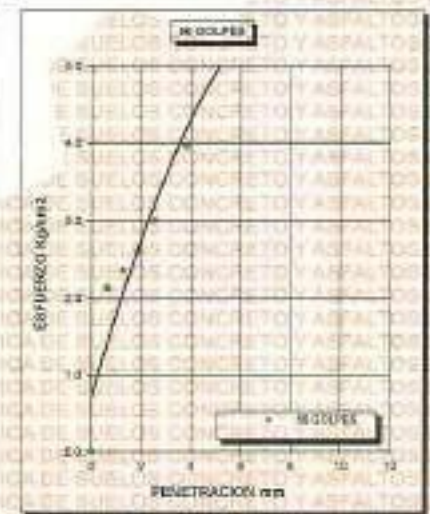
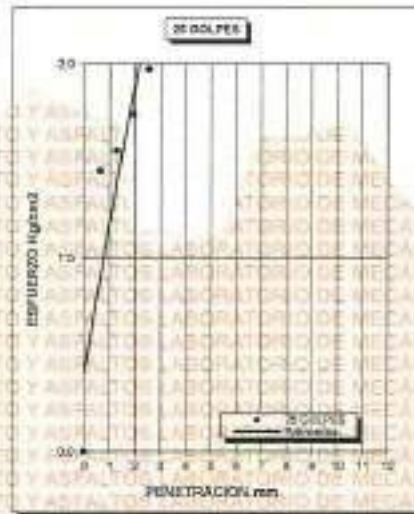
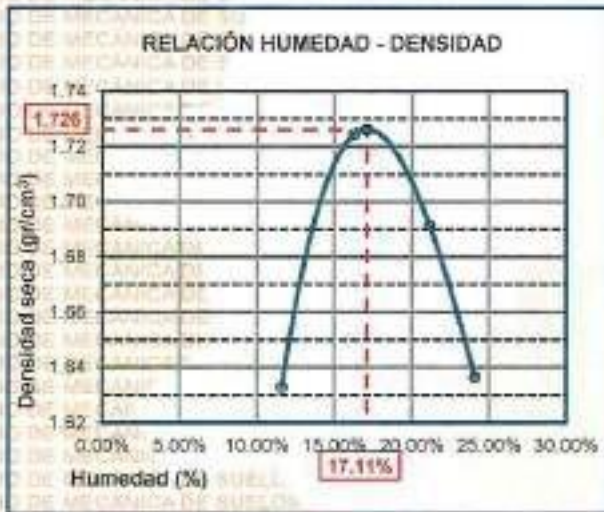
Nelson Yair Mamani Sacaca
Ingeniero Civil



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



ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA		MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
PROYECTO :	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³ .)	1.726
SOLICITADO :	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%)	17.1%
UBICACIÓN :	KM 2+500 - 2+850	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	4.32
PROGRESIVA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M2	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	3.65
MUESTRA :	CL	CLASIFICACIÓN :	CL
FECHA :	07 DE MAYO DEL 2024	AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



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

[Firma manuscrita]



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

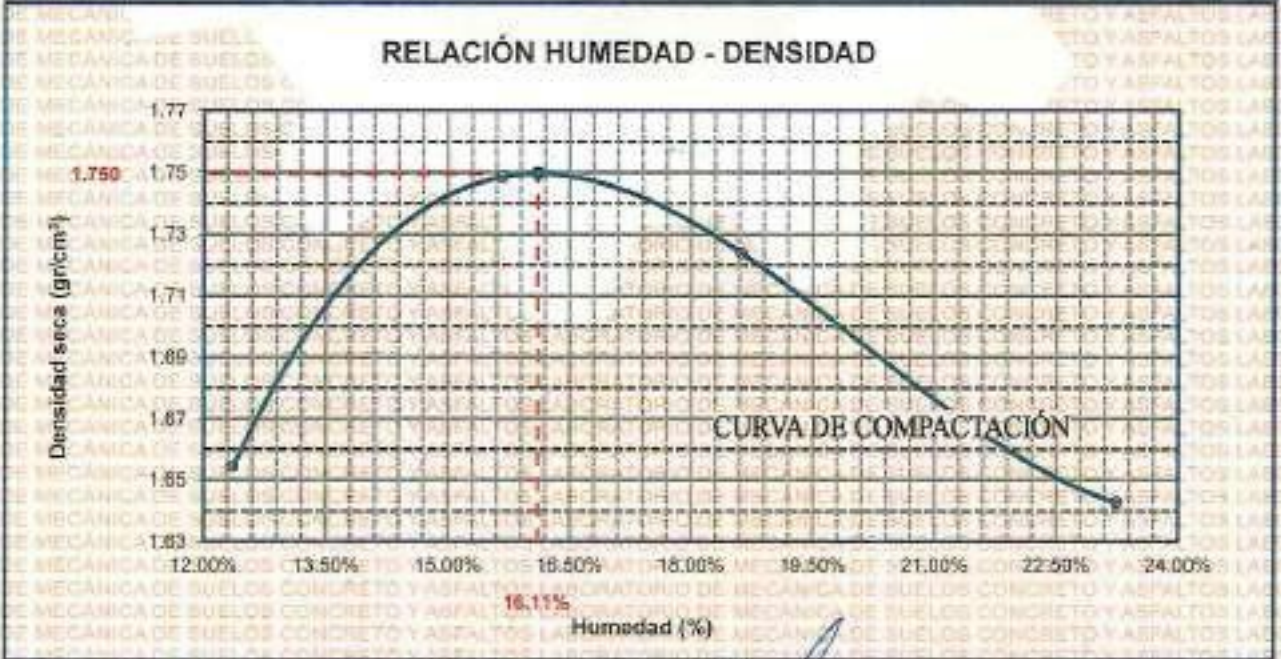
TESIS	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA		
SOLICITANTE	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA		
UBICACIÓN	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA		
PROGRESIVA	KM 3+200 - 3+650		
MUESTRA	DALICATA 3 - MUESTRA 3		
FECHA	07 DE MAYO DEL 2024		

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	938 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6045	6064	6043	5890
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1894	1913	1892	1739
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	2.025	2.045	2.022	1.859

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	67.19	71.26	80.64	89.90	81.33	91.91	30.49	50.59
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	58.42	62.08	71.66	79.11	72.68	82.79	39.91	54.04
Peso del Agua	gr.	8.77	9.20	8.99	10.79	8.74	9.12	6.68	6.54
Peso de la Capsula	gr.	15.90	24.16	19.78	24.81	21.68	18.37	22.92	22.27
Peso del Suelo Seco	gr.	39.49	37.90	51.76	54.30	50.90	64.42	51.29	51.77
% de Humedad	%	22.21%	24.27%	17.57%	19.87%	17.17%	14.16%	10.90%	13.85%
Promedio de Humedad	%	23.24%		18.62%		15.66%		12.36%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.643		1.724		1.749		1.654	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.750 gr/cm ³
E MEDIDA	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	16.11%




 Ing. Nelson Yair Mamani Sacaca
 T-13477



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL EMPLEO DE ÓXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

SOLICITANTE : Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA

UBICACIÓN : AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA

PROGRESIVA : KM 3+200 - 3+650

MUESTRA : CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA : 07 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No		II	I	I
No DE CAPAS		5	6	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA		SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10545	11541	10818	11631	11075	11605
Peso del Molde	gr.	6700	6700	6710	6710	6802	6802
Peso del Suelo Humedo	gr.	3845	4841	4108	4921	4273	4803
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.81	2101.81	2098.50	2098.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.827	2.300	1.954	2.341	2.038	2.291

Capsula No	No	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	183.61	302.45	158.25	475.52	163.11	367.32
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	137.75	233.33	138.34	377.35	145.32	295.28
Peso del Agua	gr.	15.88	69.12	19.91	98.17	17.79	69.03
Peso de la Capsula	gr.	68.29	98.74	98.94	71.82	35.73	69.51
Peso del Suelo Seco	gr.	69.46	194.59	99.70	305.53	109.59	228.78
% de Humedad	%	22.63%	35.52%	19.97%	32.13%	16.23%	29.80%
Promedio de Humedad	%	22.83%	35.52%	19.97%	32.13%	16.23%	25.80%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.487	1.697	1.629	1.772	1.754	1.821

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/08/2023	08:25: a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	0.082	2.063	1.65	0.067	1.702	1.35	0.043	1.082	0.87
20/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	0.131	3.327	2.64	0.085	2.159	1.72	0.080	2.032	1.61
21/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	0.186	4.724	3.75	0.117	2.972	2.38	0.097	2.484	1.98
22/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	0.212	5.385	4.28	0.155	3.937	3.13	0.135	3.429	2.72

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		0.18	20.50	1.34		1.03	29.50	1.93		5.02	45.44	2.40	
1.27	01:00		0.37	26.70	1.38		1.88	33.54	1.73		8.07	50.90	2.63	
1.91	01:30		0.49	27.21	1.41		2.44	35.49	1.80		7.22	55.78	2.88	
2.54	02:00	70.31	0.62	27.78	1.44	3.04	3.31	38.18	2.09	2.98	8.13	59.84	3.08	4.36
3.81	03:00		2.68	38.51	1.99		7.23	54.62	2.88		19.04	80.48	4.18	
5.09	04:00	105.00	5.63	49.03	2.53	2.41	11.89	74.75	3.88	3.65	18.57	103.85	5.37	5.12
6.35	05:00		8.55	52.93	2.74		12.35	77.58	4.02		19.40	107.47	5.56	
7.62	06:00		7.17	55.98	2.67		12.96	80.14	4.14		19.98	109.94	5.88	
8.84	07:00		7.92	58.75	3.04		13.56	82.89	4.27		20.55	112.36	5.81	
10.16	08:00		8.82	62.57	3.25		14.22	85.49	4.42		21.79	117.58	6.08	

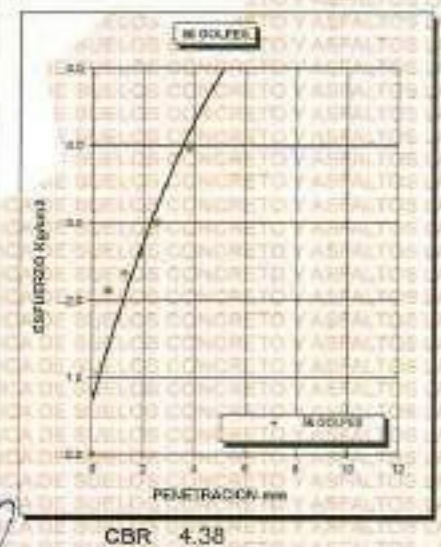
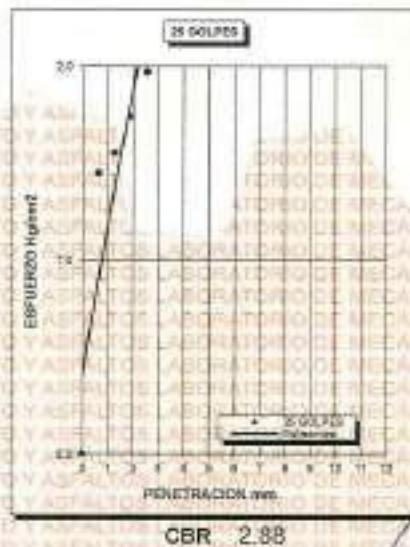
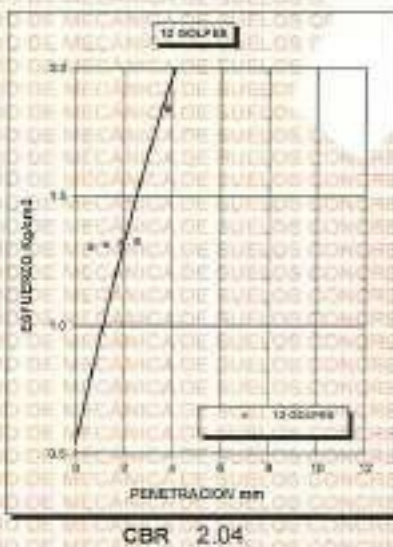
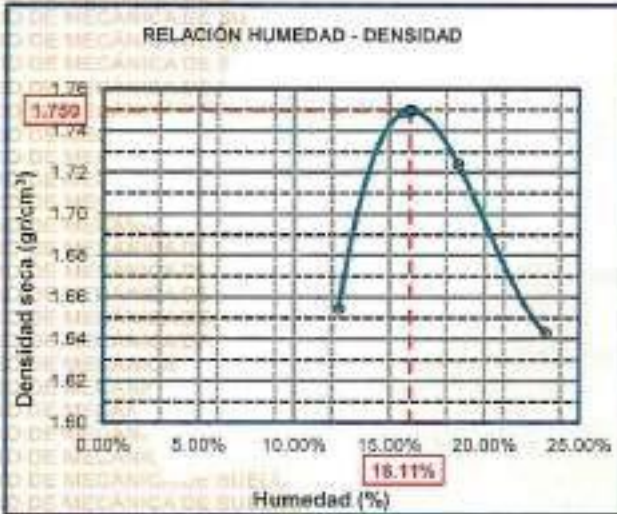

 Aracely Yano Torres
 CIP 503267



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 :	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SILBRASANTE CON EL EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. NELSON YAIR MAMANI SACACA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.750
UBICACION :	AVENIDA FERROCARRIL - JULIACA	HUMEDAD OPTIMA (%) 16.11%
PROGRESIVA :	KM 3+200 - 3+650	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 4.25
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M3	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 3.44
FECHA :	07 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



(Signature)
Ing. Andrés Luis Torres
C.R. 103257



ANEXO I
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 19-09-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: NELSON YAIR MAMANI SACACA

Dirección: Jr. HUANCANE S/N

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70130655

Teléfono: 917 265 160 email: Nelson03.ms@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: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE CON EL

EMPLEO DE OXIDO DE CALCIO Y CONCHAS MARINAS TRITURADAS

EN LA AVENIDA FERROCARRIL DE LA CIUDAD DE JULIACA

Palabras claves, (3 a 5 términos): OXIDO DE CALCIO, CONCHAS MARINAS, SUBRASANTE, GRADO DE COMPACTACIÓN, INDICE DE PLASTICIDAD, 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

19-09-2024

Fecha