



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



**EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE
LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE
DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD
DE SAN MIGUEL**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

**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
EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE
LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE
DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD
DE SAN MIGUEL

TESIS PRESENTADA POR:


Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. LEONEL SUÁSACA PELINCO

PRIMER MIEMBRO

:


Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES


SEGUNDO MIEMBRO

:


Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

ASESOR DE TESIS

:


Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA



RESOLUCIÓN DECANAL N° 492 2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliana, 28 de junio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-07495 presentado por el (a) Bachiller EDSON EMILIO KUELAS BELIZARIO 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 (a) Bach. EDSON EMILIO KUELAS BELIZARIO, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL**, 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° 23739 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

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

- **Presidente** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- **1er Miembro** : Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- **2do Miembro** : Mgr. ARNALDO YARA TORRES

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

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (a) bachiller: EDSON EMILIO KUELAS BELIZARIO; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : Martes 02 de julio del 2024
- **HORA** : 10:00 a.m.
- **LUGAR** : Aula 400 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANÓNIMA "NÉSTOR CÁCERES VELASCO"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

[Firma]

Dr. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO

UNIVERSIDAD ANÓNIMA "NÉSTOR CÁCERES VELASCO"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

[Firma]

DIRECTOR



UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 276-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 09 de mayo del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 4683 por el o (la) Bachiller: **EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, el **PROVIDO - N° 308 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 045 - 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el o (la) Bachiller: **EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUPERABANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL**, 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. **Arcadio 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° 045 - 2024 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUPERABANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el o (la) Bachiller: **EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUPERABANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL**, correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Dr. **EFRAIN PARELLO SOBA**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 105-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de marzo del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-01760, presentado el o (la) Bachiller **EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 126-2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 45-2024 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: **EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO** ha presentado su propuesta de investigación **Titulado: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUPERABANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL**, 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° 46-2024 aprobando la propuesta de investigación **titulada: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUPERABANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL**.

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

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R y en mérito 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: **EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUPERABANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL** 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) (a) docente **Dr. EFRAIN PARELLO SOBA**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

[Handwritten signature]



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

[Handwritten signature]



EFECCIÓN DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

19 %

FUENTES DE INTERNET

4 %

PUBLICACIONES

12 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|---|----------------|
| 1 | Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante | 5 % |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 4 % |
| 3 | repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 4 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | 1 % |
| 5 | repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 6 | repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 7 | repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 8 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |



Metadatos Complementarios

| | |
|---|---|
| Título de la tesis | |
| EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | |
| Datos de autor | |
| Nombres y apellidos | Edson Emilio Ruelas Belizario |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 72672398 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0009-0009-0157-2848 |
| Datos de asesor | |
| Nombres y apellidos | Efrain Parillo Sosa |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 02416058 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0001-7567-039X |
| Datos del jurado | |
| Presidente del jurado | |
| Nombres y apellidos | Leonel Suasaca Pelinco |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 40865558 |
| Miembro del jurado 1 | |
| Nombres y apellidos | Franz Joseph Barahona Perales |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 02442876 |
| Miembro del jurado 2 | |
| Nombres y apellidos | Arnaldo Yana Torres |



| | |
|--|--|
| 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 | País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: San Miguel Latitud: S 15° 28' 43" Longitud: O 70° 07' 37" https://maps.app.goo.gl/vRv2M7R1wK3qJ4nL7 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Marzo 2024 - Junio 2024 |
| URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería | Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 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 |



 Dr. Efraim Rosales
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO, identificado con DNI

Nro. 72672398, 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:

EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL
SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA
CIUDAD DE SAN MIGUEL

Asesorado por: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 31 de julio del 2024


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

A Dios.



AGRADECIMIENTO

A nuestro creador.



ÍNDICE GENERAL

| | |
|------------------------|------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTO | ii |
| ÍNDICE GENERAL | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | viii |
| RESUMEN..... | x |
| ABSTRACT | xi |
| INTRODUCCIÓN..... | xii |

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..... | 2 |
| 1.3 Objetivos de la investigación..... | 2 |
| 1.3.1 Objetivo General | 2 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 3 |
| 1.4 Justificación de la investigación..... | 3 |
| 1.4.1 Justificación técnica..... | 3 |
| 1.4.2 Justificación social..... | 3 |
| 1.4.3 Justificación ambiental..... | 4 |
| 1.5 Hipótesis de la Investigación..... | 4 |
| 1.5.1 Hipótesis General..... | 4 |
| 1.5.2 Hipótesis Específicas..... | 4 |
| 1.6 Variables e indicadores..... | 5 |
| 1.6.1 Variable Independiente..... | 5 |
| 1.6.2 Variable Dependiente..... | 5 |
| 1.7 Operacionalización de Variables..... | 5 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|---|---|
| 2.1 Antecedentes de la investigación..... | 7 |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales..... | 7 |



- 2.1.2 Antecedentes nacionales 10
- 2.1.3 Antecedentes regionales..... 14
- 2.2 Bases teóricas. 15
 - 2.2.1 Suelo..... 15
 - 2.2.1.1 Tipos de suelos 17
 - 2.2.1.2 Plasticidad de los suelos 19
 - 2.2.1.3 Clasificación de los suelos..... 21
 - 2.2.1.4 Compactación de los suelos 23
 - 2.2.1.5 Prueba de Proctor 26
 - 2.2.1.6 C.B.R..... 28
 - 2.2.2 Estabilización de suelos 30
 - 2.2.3 Cal 33
 - 2.2.3.1 Tipos de cal 35
- 2.3 Marco conceptual..... 37
 - 2.3.1 Cal hidratada..... 37
 - 2.3.2 Cal viva 37
 - 2.3.3 CBR 38
 - 2.3.4 Índice de plasticidad..... 38
 - 2.3.5 Suelo 38
 - 2.3.6 Proctor modificado 38

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

- 3.1 Diseño de la Investigación 40
- 3.2 Método de Investigación 40
- 3.3 Nivel y tipo de la investigación 41
 - 3.3.1 Nivel de la Investigación..... 41
 - 3.3.2 Tipo de la investigación 41
- 3.4 Población y Muestra..... 41
 - 3.4.1 Población 41
 - 3.4.2 Muestra 42
- 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 42
 - 3.5.1 Técnicas..... 42
 - 3.5.2 Instrumentos 43
- 3.6 Plan de recolección de datos 44
 - 3.6.1 Desarrollo del plan de investigación 44
 - 3.6.2 Procesamiento de datos..... 51



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados..... 52

 4.1.1 Propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante. 52

 4.1.2 Adición de cal viva y cal hidratada y su efecto en el índice de plasticidad. . 59

 4.1.3 Influencia de cal viva y cal hidratada en el grado de compactación..... 65

 4.1.4 Aplicación de cal viva y cal hidratada y su efecto en el CBR de subrasante.71

 4.1.5 Comparativa de resultados:..... 77

4.2 Discusión de Resultados..... 84

CONCLUSIONES 87

RECOMENDACIONES 88

REFERENCIAS 89

ANEXOS..... 92



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables. 6

Tabla 2 Cantidad de muestras..... 42

Tabla 3 Cantidad de muestras..... 45

Tabla 4 Humedad de cada calicata 52

Tabla 5 Análisis granulométrico de las calicatas..... 53

Tabla 6 IP de SN de las muestras 55

Tabla 7 Grado de compactación espécimen de cada pozo..... 55

Tabla 8 Capacidad de las muestras de calicata..... 57

Tabla 9 IP al combinar SN + 2% de Cal Viva..... 59

Tabla 10 Índice plasticidad al combinar SN + 4% de Cal Viva 60

Tabla 11 Índice plasticidad al combinar SN + 6% de Cal Viva 61

Tabla 12 Índice plasticidad al combinar SN + 1% de Cal hidratada 62

Tabla 13 Índice plasticidad al combinar SN + 3% de Cal hidratada 63

Tabla 14 Índice plasticidad al combinar SN + 5% Cal hidratada 64

Tabla 15 Grado de compactación del SN con adición de 2% de cal viva..... 65

Tabla 16 Grado de compactación del SN con empleo de 4% de cal viva. 66

Tabla 17 Grado de compactación del SN con adición de 6% de cal viva..... 67

Tabla 18 Grado de compactación del SN con adición de 1% de cal hidratada. 68

Tabla 19 Grado de compactación del SN con empleo de 3% de cal hidratada..... 69

Tabla 20 Grado de compactación del SN con adición de 5% cal hidratada. 70

Tabla 21 CBR del SN con empleo de 2% cal viva. 71

Tabla 22 CBR del SN con empleo de 4% de cal viva. 72

Tabla 23 CBR del SN con empleo de 6% de cal viva. 73

Tabla 24 CBR del SN con adición de 1% de cal hidratada. 74

Tabla 25 CBR del SN con adición de 3% de cal hidratada. 75

Tabla 26 CBR del SN con empleo de 5% cal hidratada..... 76

Tabla 27 Comparativa del IP con adición de cal viva..... 77

Tabla 28 Comparativa del MDS con empleo de cal viva..... 78

Tabla 29 Comparativa del CBR con adición de cal viva..... 79



| | |
|--|----|
| Tabla 30 Comparativa del IP con adición de cal hidratada. | 80 |
| Tabla 31 Comparativa del MDS con empleo de Cal Hidratada. | 81 |
| Tabla 32 Comparativa del CBR con adición de cal hidratada. | 82 |



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la vía..... 44

Figura 2 Calicata 01 53

Figura 3 Calicata 02..... 54

Figura 4 Calicata 03..... 54

Figura 5 Curva de compactaciones de la M-1 56

Figura 6 Curva de compactaciones de la M-2 56

Figura 7 Curva de compactaciones M-3..... 57

Figura 8 CBR de la calicata M-1..... 58

Figura 9 CBR de la calicata M-2..... 58

Figura 10 CBR de la calicata M-3..... 59

Figura 11 ÍP del SN con empleo de 2% de cal viva 60

Figura 12 IP del SN con empleo de 4% de cal viva 61

Figura 13 Índice de plasticidad del SN con empleo de 6% de cal viva 62

Figura 14 IP del SN con empleo de 1% de cal hidratada..... 63

Figura 15 Índice de plasticidad del SN con empleo de 3% de cal hidratada. 64

Figura 16 IP del SN con empleo de 5% de cal hidratada..... 65

Figura 17 Grados de compactación del SN con adición de 2% de cal viva 66

Figura 18 Grados de compactación del SN con adición de 4% de cal viva 67

Figura 19 Grados de compactación del SN con adición de 6% de cal viva 68

Figura 20 Grados de compactación del SN con adición de 1% de cal hidratada 69

Figura 21 Grados de compactación del SN con empleo de 3% de cal hidratada..... 70

Figura 22 Grados de compactación del SN con adición de 5% de cal hidratada 71

Figura 23 CBR del SN con adición de 2% de cal viva. 72

Figura 24 CBR del SN con empleo de 4% de cal viva..... 73

Figura 25 CBR del SN con empleo de 6% de cal viva..... 74

Figura 26 CBR del SN con adición de 1% de cal hidratada..... 75

Figura 27 CBR del SN con empleo de 3% cal hidratada. 76

Figura 28 CBR del SN con empleo al 5% de cal hidratada..... 77

Figura 29 Comparativa del IP con empleo de Cal Viva. 78



| | |
|---|----|
| Figura 30 Comparativa del grado de compactación con empleo de Cal Viva. | 79 |
| Figura 31 Comparativa del CBR del SN con adición de cal viva en proporciones variables. | 80 |
| Figura 32 Comparativa del IP con empleo de Cal Hidratada. | 81 |
| Figura 33 Comparativa del grado de compactación con empleo de Cal Hidratada. | 82 |
| Figura 34 Comparativa del CBR del SN con empleo de cal hidratada en proporciones variables. | 83 |



RESUMEN

La presente investigación denominado "Efecto de la cal viva y cal hidratada sobre las propiedades del suelo de subrasante de la avenida horacio de la ciudad de San Miguel", pretende evaluar los efectos de proporciones variables de cal viva y cal hidratada en las propiedades de los suelos de subrasante. El estudio empleó una técnica cuantitativa caracterizada por un enfoque explicativo y un diseño experimental. El examen preliminar del suelo indicó un índice de plasticidad de 20,19%, lo que significa la existencia de minerales arcillosos. La densidad seca máxima promedio (DMS) se determinó en 1.787 g/cc y el contenido de humedad ideal se encontró en 8,03%. Estos hallazgos muestran que el suelo tiene un nivel de compactación relativamente bajo. La capacidad de carga de la relación de carga de California (CBR) se determinó en 4,61% al 95% del corte máximo de diseño (DMS), lo que indica que el suelo no es apropiado para su uso como subrasante. La incorporación de cal viva en concentraciones de 2%, 4% y 6% resultó en una disminución del índice de plasticidad de 20,19% a 11,58%, siendo 6% la concentración más efectiva. La adición de cal hidratada en concentraciones de 1%, 3% y 5% resultó en una caída del índice de plasticidad a 10,28%, siendo la concentración 3% la más efectiva. La cal viva elevó la densidad del DMS a 2.114 g/cc, siendo 6% la concentración más favorable. Por otro lado, la cal hidratada elevó la densidad del DMS a 2.234 g/cc, siendo 1% la concentración óptima. La capacidad portante del CBR se mejoró en 6% usando cal viva y 3% usando cal hidratada, resultando en valores respectivos de 12,24% y 12,12%.

Palabras Clave: Cal viva, Cal hidratada, subrasante, plasticidad, compactación y CBR.



ABSTRACT

The present investigation entitled "Effect of quicklime and hydrated lime on the properties of the subgrade soil of Horacio Avenue in the city of San Miguel", aims to evaluate the effects of varying proportions of quicklime and hydrated lime on the properties of subgrade soils. The study employed a quantitative technique characterized by an explanatory approach and an experimental design. The preliminary examination of the soil indicated a plasticity index of 20.19%, which means the existence of clay minerals. The average maximum dry density (DMS) was determined at 1,787 g/cc and the ideal moisture content was found at 8.03%. These findings show that the soil has a relatively low compaction level. The California bearing ratio (CBR) bearing capacity was determined at 4.61% at 95% of the maximum design cut (DMS), indicating that the soil is not appropriate for use as a subgrade. The addition of quicklime at concentrations of 2%, 4% and 6% resulted in a decrease in the plasticity index from 20.19% to 11.58%, with 6% being the most effective concentration. The addition of hydrated lime at concentrations of 1%, 3% and 5% resulted in a drop in the plasticity index to 10.28%, with 3% being the most effective concentration. Quicklime raised the density of DMS to 2.114 g/cc, with 6% being the most favorable concentration. On the other hand, hydrated lime raised the density of DMS to 2.234 g/cc, with 1% being the optimum concentration. The bearing capacity of CBR was improved by 6% using quicklime and 3% using hydrated lime, resulting in respective values of 12.24% and 12.12%.

Key words: Quicklime, hydrated lime, subgrade, plasticity, compaction and CBR.



INTRODUCCIÓN

La estabilización de suelos es una técnica crucial en ingeniería civil que tiene como objetivo mejorar las características mecánicas de los suelos utilizados en la construcción de infraestructura vial. Se ha demostrado que la estabilización con cal viva y cal hidratada es un método eficaz para mejorar la capacidad de carga y disminuir la fluidez de los suelos arcillosos. Estos suelos a menudo presentan problemas de estabilidad y compactación.

La Avenida Horacio, situada en la ciudad de San Miguel, es una importante vía pública que ha presentado deficiencias en la calidad de su subrasante, comprometiendo así la longevidad y la seguridad de la carretera. Los suelos de la subrasante de esta ruta tienen un alto índice de flexibilidad y una baja densidad seca máxima, lo que los hace inadecuados para soportar cargas de tráfico sin un tratamiento adecuado.

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto de las proporciones variables de cal viva y cal hidratada en las propiedades de los suelos de la subrasante que se encuentran en la Avenida Horacio. El objetivo es utilizar un método cuantitativo y un diseño experimental para encontrar las concentraciones ideales de estos estabilizadores con el fin de mejorar la densidad seca máxima, disminuir la plasticidad y aumentar el CBR de los suelos evaluados. Los hallazgos de este estudio ofrecerán información importante para implementar medidas eficientes para mejorar la infraestructura vial en San Miguel, promoviendo así el crecimiento sostenible y seguro de la ciudad.

Capítulo I: En esta sección se exponen los objetivos, la justificación, las hipótesis, las variables, las dimensiones y los indicadores del estudio, así como la circunstancia problemática que motivó la iniciativa de elegir este estudio en particular.



Capítulo II: En este ítem se incluye la fundamentación teórica para una mejor comprensión del tema investigado y la conceptualización de las palabras utilizadas en este estudio, así como los antecedentes que impulsaron la investigación y las referencias a los resultados que se recogieron para su posterior comparación.

Capítulo III: Este artículo describe la metodología de investigación diseccionando los pasos utilizados para recopilar y analizar los datos.

Capítulo IV: En esta sección no sólo se describe el caso, sino que también se preparan tablas y figuras para reflejar el resumen de los valores que se derivaron del examen del material que lo precedió.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.

Perú ha experimentado un notable aumento de su expansión demográfica en los últimos años, lo que ha provocado el desarrollo de la población en pueblos remotos y alejados de las principales zonas urbanas del país. De ahí que muchas ciudades y pueblos estén distribuidos por todo el país. Para unir estas comunidades es necesario establecer carreteras con diversos tipos de firme, siendo los más frecuentes los caminos de tierra poco transitados.

En nuestra región, hay múltiples carreteras que conectan los pueblos con niveles bajos de tráfico. Existe una tendencia creciente a construir nuevas carreteras y mejorar las existentes. Sin embargo, estas carreteras se enfrentan a problemas debidos a la mala calidad de los materiales utilizados y a las propiedades inadecuadas del suelo.

Una forma de abordar este problema es mediante el uso de agentes químicos o materiales naturales para estabilizar el suelo. Muchos estudios se han centrado en varios métodos para aumentar la capacidad de carga de la subrasante. Se ha propuesto que la cal hidratada y la cal viva desempeñan un papel importante en la mejora de las características del suelo y en la producción de resultados deseables cuando se utilizan.



La subrasante de la carretera de la Avenida Horacio puede beneficiarse de los efectos estabilizadores de estos materiales, que producen cualidades del suelo más uniformes.

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Problema General.

¿Cuál es el efecto de la cal viva y cal hidratada sobre las propiedades del suelo de subrasante de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?

1.2.2 Problemas Específicos.

- a. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?
- b. ¿Cuál es el efecto de la incorporación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?
- c. ¿Cuál es la influencia de la adición de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?
- d. ¿Cuál es la influencia de la adición de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General

Analizar el efecto de la cal viva y cal hidratada sobre las propiedades del suelo de subrasante de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.



1.3.2 Objetivos Específicos.

- a. Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.
- b. Determinar el efecto de la incorporación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.
- c. Explicar la influencia de la adición de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.
- d. Explicar el efecto de la aplicación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.

1.4 Justificación de la investigación.

1.4.1 Justificación técnica.

El estudio propuesto tiene como objetivo mejorar las tecnologías de consolidación de suelos, promoviendo así la sostenibilidad de la construcción de carreteras. Además, contribuirá al desarrollo de procedimientos para combinar y dosificar materiales naturales del suelo con cal viva y cal hidratada. Esta investigación generará nuevos conocimientos científicos para optimizar la composición de los suelos de subrasante.

1.4.2 Justificación social.

La investigación propuesta tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de la población mediante el uso de cal viva e hidratada de manera sostenible y ecológica para el tratamiento de los suelos de subrasante de las vías y accesos de la población en la ciudad. Además, esta investigación promueve actividades de reciclaje y apoya



indirectamente a la economía social. Además, el uso de estos materiales para el mejoramiento y construcción de vías para la población es un beneficio adicional.

1.4.3 Justificación ambiental.

La investigación tiene como objetivo examinar la creciente contaminación ambiental a nivel mundial y sus efectos sustanciales a escala local. Por lo tanto, el proyecto de estudio busca examinar la importancia de las iniciativas de reciclaje y/o reutilización. El estudio pretende específicamente investigar la viabilidad de utilizar cal viva y cal hidratada en la composición de los suelos de subrasante para la construcción de carreteras. Esta investigación está impulsada por la necesidad de lograr un desarrollo vial sostenible en la ciudad.

1.5 Hipótesis de la Investigación.

1.5.1 Hipótesis General.

El efecto de la cal viva y cal hidratada sobre las propiedades del suelo de subrasante de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, será favorable.

1.5.2 Hipótesis Específicas.

- a. Las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, serán subrasantes inestables.
- b. El efecto de la incorporación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, será favorable reduciendo la plasticidad del material de suelo.
- c. La influencia de la adición de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, incrementará el grado de compactación del material de suelo.



- d. El efecto de la aplicación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, mejorará el CBR del suelo.

1.6 Variables e indicadores.

1.6.1 Variable Independiente.

Cal viva y cal hidratada

Indicadores:

- ✓ Adición de 2%, 4% y 6% de cal viva
- ✓ Adición de 1%, 3% y 5% de cal hidratada

1.6.2 Variable Dependiente

Subrasante

Indicadores:

- Plasticidad
- Compactación
- CBR

1.7 Operacionalización de Variables.

Se presenta el cuadro de operacionalización.



Tabla 1

Operacionalización de variables.

| Variable Independiente | Definición | Dimensión | Indicadores | Instrumentos de Medición |
|-------------------------------|---|---|---------------------------|--|
| Cal viva y Cal hidratada | La cal viva es sólida y reacciona violentamente al entrar en contacto con el agua, liberando calor y formando cal hidratada. | - Adición de 4% de cal viva. - Adición de 2% de cal hidratada. | Combinación de materiales | Bandejas y herramientas de laboratorio |
| | La cal hidratada se utiliza para el jardinero casero, ya que mejora la calidad del suelo al reducir la acidez y aumentar la disponibilidad de nutrientes. | | Combinación de materiales | |
| Variable Dependiente | Definición | Dimensión | Indicadores | Instrumentos de Medición |
| Suelo de Subrasante | El suelo subrasante es la capa de terreno natural que soporta la estructura de pavimento de una carretera. El suelo subrasante debe tener una resistencia y una estabilidad adecuadas para evitar deformaciones o fallas en el pavimento. | Tipos de técnicas en pavimento | Plasticidad | Equipos y herramientas de laboratorio |
| | | | Compactación | |
| | | | CBR | Fichas de laboratorio |

Nota. Elaboración propia



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

2.1.1 *Antecedentes internacionales.*

(Parra-Gómez, 2018) en su investigación titulada “Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante”, El objetivo de este estudio es estabilizar un suelo de tipo caolín mediante la adición de cal viva y cenizas volantes en dosis del 2%, 4%, 6% y 8%. Para ello, caracterizaremos física y mecánicamente los materiales en varios cuerpos de ensayo, utilizando herramientas como el ensayo de compresión no confinada y el Proctor Estándar para medir y analizar tensiones máximas, rigidez y humedad. También utilizaremos estos parámetros para diseñar nuestro proceso de estabilización.

(Gavilanes Bayas, 2015) en su investigación titulada “Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur “. Existen zonas en Quito donde el suelo es bastante húmedo, lo que hace que presente propiedades indeseables asociadas al agua en la subrasante. Para tener un buen material de cimentación para cualquier tipo de proyecto de obra civil, es necesario estabilizar el suelo para cambiar sus características físicas, lo que mejora su fluidez, resistencia y durabilidad. La estabilización del suelo y de



la subrasante suele implicar el uso de cemento, cal, asfalto y arena. Diversas variables, de resistencia, los materiales accesibles en las proximidades y el clima de la ciudad, afectan a la eficacia de las operaciones de estabilización que utilizan los elementos mencionados. En los últimos años, las técnicas de estabilización de suelos han experimentado un enorme crecimiento en todo el mundo, convirtiéndose en el método preferido para la mejora del suelo en Europa. A ello han contribuido el desarrollo de la tecnología y la maquinaria para la ejecución de obras civiles, la necesidad de reutilizar los materiales de los firmes por razones medioambientales y la necesidad de reforzar la capacidad de resistencia ante el aumento del tráfico. Debido a su mayor capacidad de resistencia y a su menor susceptibilidad al agua, las capas estabilizadas han demostrado ser más fiables y duraderas cuando están sometidas al tráfico y a las inclemencias del tiempo. Esta es la razón por la cual las capas estabilizadas están siendo consideradas como una solución potencial para la construcción de rellenos y el desarrollo de explanadas en las normas viales aprobadas. sur de Quito tienen un alto límite de flexibilidad debido a la geología y clima únicos de la región. La calidad de los suelos subyacentes determina el rendimiento a largo plazo del proyecto de obras civiles. Los pavimentos y los edificios pueden sufrir graves problemas debido a la inestabilidad de los suelos. Los procedimientos de estabilización y mejora del suelo, que transforman químicamente el material inestable en materiales útiles, se utilizan en la construcción para tratar el suelo de la subrasante con un aglutinante. Los resultados previstos dependen de ello, por lo que es fundamental llevar a cabo la investigación que permita la elección adecuada del ingrediente cementante. Dado que es probable que los suelos y materiales accesibles para los proyectos de obras civiles sean los mismos de un lugar a otro, es imprescindible realizar una investigación exhaustiva para identificar y evaluar todos los tipos de suelos y materiales que se estabilizarán o mejorarán.

(Santander Zambrano & Yávar Rodríguez, 2018) en su investigación titulada "Análisis Comparativo entre Método de Estabilización de Subrasante mediante el uso de



Enzimas Orgánicas y Mezclas con Cal, en la Urbanización Tanya Marlene ubicada en la Ciudad de Milagro, Provincia del Guayas“. El presente trabajo el principio evidenciar la aplicación de cal a un suelo arcilloso a nivel de subrasante y el uso de enzimas orgánicas, concretamente Permazyme 11x, como agente estabilizador. Las medidas estabilizantes se aplicaron utilizando suelo arcilloso proveniente de la Ciudadela Tanya Marlene en el km 4 vía 26 de la ciudad de Milagro, provincia del Guayas. Las muestras se tomaron a dos profundidades distintas (0,50 y 1,00 m) durante todo el proceso de extracción. Para la caracterización de los suelos de subrasante se desarrollaron varias pruebas, entre ellas pruebas de granulometría y límites de Atterberg. Para la categorización se utilizaron las técnicas SUCS y AASHTO. Para redondear las cosas, realizamos la prueba Proctor Tipo C Modificado, que proporciona (C.B.R.) describiendo la humedad ideal del suelo y la densidad máxima. Optimizamos las propiedades del suelo arcilloso variando los porcentajes de enzimas orgánicas y cal. A continuación, comparamos las muestras estabilizadas con estos agentes para determinar la mejor alternativa, teniendo en cuenta el coste y el beneficio.

(Moreira Cedeño & Guamán Iler, 2016) en su investigación titulada “Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)”. El objetivo general del estudio es conocer cómo reacciona un suelo arcilloso cuando se trata con cal y cloruro salino en concentraciones que oscilan entre el 2,5% y el 7,5% y el 12,5%, respectivamente. La muestra de suelo se tomó de un pozo de prueba de 1 metro de profundidad en Puyo, y se utilizó todo el pozo para realizar pruebas de laboratorio con muestras modificadas y no modificadas. Para esta investigación se utilizaron pruebas de suelo estándar, incluyendo el cono de Ottawa y la arena, así como el contenido de humedad y la compresión no confinada. La técnica Proctor D modificada, la gravedad específica, los límites de Atterberg, qult y qadm, y la capacidad de carga del suelo (CBR) estuvieron entre las pruebas utilizadas para comparar suelos estabilizados y no estabilizados. Sustituimos el cloruro de sodio por sal granular triturada porque tenía



una reacción más favorable con las partículas de arcilla. Después de la fabricación, los bloques fueron sometidos a una prueba básica de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 21 días.

2.1.2 Antecedentes nacionales.

(Jara Anyaypoma, 2014) en su investigación titulada "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso". Debido a que los suelos arcillosos son problemáticos debido a mayor plasticidad, baja carga e inestabilidad del volumen en función de la humedad, decidimos probar la eficacia de la cal como estabilizador para subrasantes que comprenden suelos arcillosos. Nos propusimos mejorar las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos mediante la aplicación de métodos comúnmente utilizados en la industria. De acuerdo con los procedimientos establecidos, el estudio cumplió sus objetivos incorporando cal a la muestra de suelo arcilloso en concentraciones que oscilaron entre 0% y 6% en peso. Para establecer los porcentajes de cal se utilizó una norma conocida como ASTM 6276. Los resultados muestran que hubo variaciones significativas en el índice de plasticidad y CBR durante la evaluación de la estabilización; el índice de plasticidad disminuyó a 9,23 con 6% de cal, desde 36,87 con 0% de cal, y el índice de capacidad de carga (CBR) aumentó a 11,48% con 4% de cal, desde 2,55% con 0% de cal. Después de probar varios % de cal, se encontró que un 4% de cal produjo los mejores resultados para el tipo de suelo A-7-5(29), con un CBR máximo de 11,48% cuando se aplicó al 95%.

(Cabana Valverde, 2017) en su investigación titulada "Mejoramiento de la relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico CAL a la subrasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria - Wilcahuain, Huaraz, 2017". El objetivo principal de esta investigación es recopilar evidencia empírica que respalde la afirmación de que el uso de estabilización química a base cal hidratada en suelos mejora las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante con capacidad de carga limitada. En



consecuencia, esto permitiría el avance de materiales de construcción de carreteras con mayor durabilidad. Como muestra típica se seleccionó un tramo de Vía sin pavimentar Paria-Wilcahuain, ubicada en el distrito Independencia de la provincia de Huaraz, dentro del Departamento de Ancash. Esta ruta experimenta niveles de tráfico muy bajos. Se perforaron tres pozos para adquirir muestras representativas, cuya funcionalidad luego se evaluó con base en criterios técnicos peruanos utilizando diversos métodos de laboratorio. Los experimentos se llevaron a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y en los departamentos de suelos, hormigón y betún de VH E.I.R.L. La subrasante se dividió 3 porciones independientes según las características físicas de la vía. El tramo inicial estaba formado por un suelo de capa arcillosa granular, de poca flexibilidad y libre de cantos rodados. El suelo del segundo segmento estaba formado por arena, mientras que el suelo del tercer sector estaba formado por una cantidad insignificante de grava. Debido a que los CBR eran inferiores al 10%, las tres divisiones carecían de capacidad de apoyo suficiente. Alternativamente, es posible que MTC haya mejorado la calidad del suelo de cimentación o lo haya sustituido con material apropiado. Esta investigación se centró en esto último, es decir, en la idea original aportada por el MTC. La decisión de emplear la estabilización del suelo utilizando diferentes cantidades de cal se basó en las propiedades específicas de la arcilla observadas en las muestras que examinamos. Utilizamos cal hidratada debido a la especificación de la MTC de que es el químico más eficiente para este tipo de suelo en particular. Para determinar la dosis más eficaz de cal estabilizadora, fue fundamental realizar una serie de estudios de comportamiento. Las pruebas realizadas fueron el ensayo Proctor modificado, el ensayo CBR, la técnica EADES y el ensayo GRIM, que está prescrito en la norma CE.020 para estabilización de suelos y taludes. En resumen, los resultados confirmaron que los suelos especificados mostraron un mejor rendimiento cuando se suplementaron con cal hidratada en comparación con su condición original. Por ejemplo, el pozo 03 tuvo un aumento del 28 % en su resistencia cuando solo se utilizó un 4 % de cal estabilizadora. De manera similar, el pozo 01 experimentó un aumento del 12% en CBR cuando se



aplicó una cantidad de cal equivalente al 8% del peso del suelo seco. Estos resultados indican que el suelo en la ruta PARIÁ-WILCAHUAÍAN es aceptable para su uso como subrasante o subbase mejorada para pavimentos.

(Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2019) en su investigación titulada "Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, Distrito San Juan – Maynas – Iquitos, 2019". Una parte sustancial de las aceras de Iquitos se encuentran en mal estado y no han recibido el mantenimiento suficiente. Por ejemplo, en determinadas zonas, los pavimentos constan de una capa superior formada por materiales preexistentes como arcilla, limo arcilloso o arena que contiene una cantidad sustancial de arcilla. Construir la estructura. El objetivo principal de este estudio es examinar la manera en que las características físico-mecánicas de diversos suelos reaccionan al proceso de estabilización mediante cal hidratada y cal viva. La variedad de suelo que nos ocupa se ha asociado al Ensanche Navarro Cauper. Los fenómenos del suelo fueron determinados en el Perú mediante una técnica deductiva, de conformidad con las normas vigentes. Se emplearon gráficos de barras para representar objetivamente las variables dependientes, incluida la plasticidad, la densidad seca máxima, la capacidad de carga con CBR y la expansión con% de cal. Las correlaciones y gráficos entre variables exhibieron un grado de información de carácter descriptivo. El Pozo 01, caracterizado por un alto grado de plasticidad y expansión, y el Pozo 02, caracterizado por un bajo grado de plasticidad y expansión, fueron expuestos a diferentes concentraciones de cal hidratada y cal viva, que oscilaron entre 2% y 6%. Los hallazgos mostraron que la cal viva mejoraba la resistencia, controlaba el efecto de expansión y reducía algo la densidad y la plasticidad. En cambio, la cal hidratada conserva su densidad, flexibilidad y expansión en idénticas circunstancias, pero sin aportar mucha resistencia. La cal viva puede estabilizar eficazmente suelos arcillosos expansivos altamente plásticos en regiones sin una barrera protectora.



(Arenas Prado & Rosas Casa, 2019) en su investigación titulada "Mejoramiento de las propiedades mecánicas de la subrasante incorporando cal hidratada, vía de acceso, distrito Santa Ana de Tusi, Pasco-2019". El objetivo de este estudio es evaluar los efectos de la cal hidratada en las propiedades mecánicas de la subrasante a lo largo del camino de acceso en la región de Santa Ana de Tusi de Pasco en el año 2019. Se pretende describir los numerosos resultados que se pueden producir en la subrasante aplicando cal hidratada. Particularmente en suelos arcillosos arcillosos, esta adición es ventajosa porque mejora las propiedades del suelo, siempre que se cumplan criterios particulares. La cal hidratada suele ser necesaria para mejorar las características de los suelos arcillosos, siempre que el índice de plasticidad (PI) no supere 10, que es el mínimo indispensable. La aplicación de los resultados de este estudio para determinar la proporción ideal de cal y suelo producirá un remedio de estabilización sencillo y económico para subbases bituminosas y bases de subrasante. Para evaluar los impactos beneficiosos de la cal en los suelos arcillosos, se llevan a cabo experimentos de laboratorio utilizando muestras obtenidas durante las investigaciones de campo, considerando sus características únicas. El resultado de estos experimentos es la alteración. Los resultados finales obtenidos de los experimentos, que comprenden granulometría, CBR, supervisor modificado y límites de consistencia, se contrastaron para obtener la información esencial que determina la dosis óptima y, en última instancia, el suelo más eficaz. En esta sección se presentan y analizan los principales hallazgos de una investigación experimental, que siguió un proceso de planificación y ejecución de cuatro etapas. En la etapa preliminar se excavaron tres aberturas a una profundidad de 1,5 metros. Posteriormente, los especímenes recolectados en las excavaciones fueron sometidos a los correspondientes análisis de laboratorio y de campo. Procesar los datos y comparar los resultados de las pruebas de muestra inicial y final constituyó el paso final.



2.1.3 Antecedentes regionales.

(Calderon Lopez, 2022) en su investigación titulada "Efectos de la estabilización con cal viva y ceniza de cañihua en las propiedades de la subrasante, carretera Caracoto – Suches, Puno, 2022". Este estudio examina los efectos de la estabilización con cal (C) y ceniza de caihua (CC) en las características de la subrasante de la carretera Caracoto-suches en el área de Puno en 2022. Los aspectos distintivos de este enfoque son el uso de métodos cuantitativos, un cuasi- diseño experimental y un procedimiento explicativo. Se determinó que el índice plástico del suelo de control era 17,02%. Después del tratamiento con una concentración del 5% de C y una concentración del 4% de CC, el valor se redujo en un 1,12%. De manera similar, con una concentración del 5% de C y del 7% de CC, el valor disminuyó un 2,65%. Finalmente, con una concentración de 5% de C y 10% de concentración de CC, el valor disminuyó un 3,35%. De manera similar, la densidad seca máxima del suelo normal exhibió aumentos incrementales de 0.011, 0.036 y 0.056 gr/cm³, a partir de su valor original de 1.809 gr/cm³. Al implementar incrementos incrementales del 1%, 2,3% y 3%, la capacidad de carga de California (CBR) del patrón del suelo alcanzó el 9,1% al 95% de la densidad seca máxima. Agregar una mayor cantidad de cal y ceniza de caihua a los suelos arcillosos mejora la estabilidad, como lo demuestra una pequeña mejora en las propiedades de la subrasante, particularmente la capacidad de carga del suelo CBR.

(Huancoillo Humpiri, 2017) en su investigación titulada "Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvió Huancané – Chupa – Puno". Debido a su mala calidad y a su insuficiente capacidad de carga, algunos suelos arcillosos pueden no cumplir los criterios necesarios para los proyectos de pavimentación. Las cenizas volantes son un material de desecho residual producido por la central termoeléctrica de Ilo, Moquegua. Su eliminación tiene efectos perjudiciales para el medio ambiente. Este estudio tuvo como objetivo explorar las cualidades físico-mecánicas y los costos de implementación de



enmiendas de cal y cenizas volantes de carbón en suelos arcillosos, con el objetivo de mejorar la resistencia y estabilidad volumétrica de caminos no pavimentados. El subsuelo serviría de base a la carretera. Este estudio examina las características físicas y mecánicas, el límite líquido-plástico, la expansión, el valor de carga relativa (CBR) y la densidad seca máxima del supervisor modificado. Cuando se utiliza para generar reclamos, el suelo arcilloso que ha sido mejorado con cenizas volantes y cal en proporciones variables demuestra un mayor rendimiento en comparación con el suelo limpio. En consecuencia, cumpliendo con los requisitos técnicos exigidos por las normas peruanas (EG-2013). Las investigaciones indican que estabilizar el suelo con cenizas volantes de carbón durante la construcción de pavimentos es técnica y económicamente factible.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Suelo

El estudio del suelo es fundamental en diversas ramas de ingeniería civil, la agricultura y la geología. El suelo es la capa superior de la corteza terrestre y es vital para el crecimiento de las plantas, la construcción de estructuras y la regulación de los ciclos biogeoquímicos. Para entender sus propiedades y comportamientos, es necesario analizar su composición, estructura y los procesos que lo afectan.

Composición y Formación del Suelo

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, agua y aire. Los minerales provienen de la descomposición de las rocas y se clasifican en función de su tamaño como arenas, limos y arcillas (Brady y Weil, 2008). La materia orgánica es el resultado de la descomposición de plantas y animales, y es crucial para la fertilidad del suelo. La formación del suelo es un proceso lento influenciado por factores como el clima, la topografía, la biota, el material parental y el tiempo (Jenny, 1941).

Propiedades Físicas del Suelo

Las propiedades físicas del suelo, como la textura, la estructura, la densidad y la porosidad, determinan su capacidad para retener agua y nutrientes, así como su resistencia y capacidad de carga.

- **Textura:** La textura del suelo se refiere a la proporción de partículas de arena, limo y arcilla. Este parámetro afecta la capacidad de retención de agua y la aeración del suelo (Marshall et al., 1996).
- **Estructura:** La estructura del suelo se refiere a la forma en que las partículas de suelo se agrupan en agregados. Una buena estructura mejora la infiltración de agua y la resistencia a la erosión (Oades, 1984).
- **Densidad y Porosidad:** La densidad aparente y la porosidad del suelo son indicadores de la compactación y la cantidad de espacio poroso disponible para el movimiento del aire y el agua (Hillel, 1998).

Propiedades Químicas del Suelo

Las propiedades químicas del suelo incluyen el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la disponibilidad de nutrientes.

- **pH del Suelo:** El pH del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana. Los suelos con un pH extremo pueden requerir enmiendas para mejorar la productividad (Foth y Ellis, 1997).
- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** La CIC es la capacidad del suelo para retener y liberar cationes. Los suelos con alta CIC pueden almacenar más nutrientes, mejorando su fertilidad (Bohn et al., 2001).

Comportamiento Mecánico del Suelo



El comportamiento mecánico del suelo es crucial para la ingeniería geotécnica y la construcción. Incluye aspectos como la resistencia al corte, la compresibilidad y la capacidad de soporte.

- **Resistencia al Corte:** La resistencia al corte del suelo es la máxima resistencia que ofrece el suelo a las fuerzas que tienden a deslizar sus partículas. Esta propiedad es fundamental para el diseño de cimientos y estructuras de retención (Terzaghi et al., 1996).
- **Compresibilidad:** La compresibilidad se refiere a la tendencia del suelo a disminuir de volumen bajo carga. Los suelos altamente compresibles pueden causar asentamientos en estructuras (Lambe y Whitman, 1969).
- **Capacidad de Soporte:** La capacidad de soporte del suelo, a menudo medida mediante el Índice de Capacidad de Soporte California (CBR), es esencial para el diseño de pavimentos y otras estructuras de carga (Bowles, 1992).

Mejoramiento del Suelo

Las técnicas de mejoramiento del suelo se utilizan para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Estas técnicas incluyen la estabilización con cal, cemento y otros aditivos.

- **Estabilización con Cal:** El empleo de cal al suelo puede reducir su plasticidad y incrementar su resistencia y capacidad de soporte (Bell, 1996).
- **Estabilización con Cemento:** El cemento se utiliza para aumentar la rigidez y la resistencia del suelo, haciéndolo más adecuado para soportar cargas estructurales (Sherwood, 1993).

2.2.1.1 Tipos de suelos

El suelo se define como la capa superficial de la corteza terrestre compuesta de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, resultado de la descomposición de rocas y la acumulación de materia orgánica. Es un recurso vital para



la vida terrestre y cumple funciones cruciales en los ecosistemas, la agricultura y la ingeniería civil (Brady & Weil, 2008).

Formación de Suelos: El proceso de formación del suelo, o pedogénesis, implica la meteorización de rocas, la actividad biológica y la interacción de varios factores como el clima, los organismos, el relieve y el tiempo (Jenny, 1941). La meteorización puede ser física, cuando las rocas se fragmentan sin cambiar su composición química, o química, cuando los minerales se alteran químicamente.

Clasificación de Suelos

Clasificación Textural: La textura del suelo se determina por la proporción de partículas de diferentes tamaños: arena, limo y arcilla. Los suelos se clasifican en arenosos, limosos y arcillosos según la predominancia de estas partículas (Soil Survey Staff, 1999).

Clasificación Química: Los suelos se pueden clasificar según su pH en suelos ácidos, neutros y alcalinos. Esta clasificación es crucial para la agricultura, ya que el pH del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Thomas, 1996).

Clasificación Geotécnica: Desde una perspectiva geotécnica, los suelos se dividen en cohesivos (como las arcillas, que tienen alta plasticidad y cohesión) y no cohesivos (como las arenas y gravas, que tienen baja plasticidad) (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996).

Características Físicas y Químicas de los Suelos

Textura y Estructura: La textura del suelo se refiere al tamaño relativo de las partículas que lo componen, mientras que la estructura se refiere a cómo estas partículas se agrupan formando agregados. La estructura del suelo influye en la aireación, la retención de agua y la penetración de raíces (Hillel, 2004).



Densidad, Porosidad y Permeabilidad: La densidad del suelo se refiere a su masa por unidad de volumen, mientras que la porosidad se refiere al volumen de los poros en el suelo. La permeabilidad mide la capacidad del suelo para transmitir agua y aire. Estos parámetros son esenciales para evaluar la idoneidad del suelo en aplicaciones agrícolas y de construcción (Blake & Hartge, 1986).

Capacidad de Retención de Agua y Nutrientes: La capacidad del suelo para retener agua y nutrientes es fundamental para el crecimiento de las plantas. Los suelos arcillosos, por ejemplo, tienen una alta capacidad de retención de agua pero pueden tener problemas de drenaje (Foth, 1990).

ÍP y (CBR): El IP mide la plasticidad del suelo y se utiliza para clasificar suelos cohesivos. El CBR (California Bearing Ratio), es crucial para determinar su idoneidad como subrasante en proyectos de construcción (Bowles, 1992).

Mejoramiento del Suelo

Adición de Estabilizantes: La consolidación del suelo mediante la adición de materiales como la cal viva, el cemento y los polímeros puede mejorar sus propiedades mecánicas y de carga. La cal viva, por ejemplo, reduce la plasticidad y aumenta el CBR (Sherwood, 1993).

2.2.1.2 Plasticidad de los suelos

La plasticidad de los suelos una propiedad fundamental que describe la capacidad de un suelo para deformarse plásticamente sin romperse cuando se le aplica una fuerza. Esta característica es especialmente importante en suelos arcillosos, donde la presencia de minerales finos influye significativamente en su comportamiento mecánico y en sus propiedades de ingeniería.



Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad (IP) es una medida cuantitativa de la plasticidad de un suelo y se calcula como la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) del suelo:

$$IP = LL - LP$$

- **Límite Líquido (LL):** Es el contenido de humedad en el cual el suelo pasa del estado plástico al estado líquido.
- **Límite Plástico (LP):** Es el contenido de humedad en el cual el suelo pasa del estado semisólido al estado plástico.

El índice de plasticidad proporciona información sobre la cantidad de agua que el suelo puede absorber antes de cambiar de un estado a otro, y es un indicador crucial para clasificar y entender el comportamiento del suelo bajo diversas condiciones de carga.

Importancia de la plasticidad en la ingeniería

La plasticidad del suelo afecta varias propiedades y comportamientos del mismo, incluyendo:

- **Capacidad de Carga:** Suelos con alta plasticidad pueden mostrar una reducción significativa en su capacidad de carga debido a la deformación plástica bajo cargas aplicadas (Das, 2006).
- **Asentamientos:** Los suelos plásticos pueden experimentar grandes asentamientos, especialmente bajo estructuras pesadas, lo que puede afectar la estabilidad y la integridad de las construcciones (Holtz y Kovacs, 1981).
- **Expansión y Contracción:** Los suelos con alta plasticidad tienden a expandirse cuando están húmedos y contraerse al secarse, lo que puede causar grietas y otros problemas en las estructuras superficiales (Chen, 1988).



Clasificación de Suelos según su Plasticidad

Los suelos se pueden clasificar en función de su índice de plasticidad según el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS). Los principales grupos son:

- Suelos de Baja Plasticidad: $IP < 7$
- Suelos de Plasticidad Media: $7 \leq IP \leq 17$
- Suelos de Alta Plasticidad: $IP > 17$

Esta clasificación ayuda a los ingenieros a tomar decisiones informadas sobre el uso y el tratamiento de suelos en proyectos de construcción y otras aplicaciones geotécnicas.

Modificación de la Plasticidad

La plasticidad de suelo puede modificarse mediante el empleo de estabilizantes como la cal, el cemento o la ceniza volante. Estos materiales pueden reducir la plasticidad y mejorar las propiedades mecánicas del suelo, haciéndolo más adecuado para diversas aplicaciones de ingeniería (Bell, 1996).

- **Cal:** La adición de cal reduce la plasticidad al causar reacciones químicas que modifican la estructura del suelo y disminuyen su contenido de arcilla activa (Mitchell y Soga, 2005).
- **Cemento:** El cemento incrementa la rigidez y la resistencia del suelo, reduciendo su capacidad de deformarse plásticamente (Sherwood, 1993).

2.2.1.3 Clasificación de los suelos

La clasificación de suelos es una herramienta fundamental en la ingeniería geotécnica, ya que permite identificar y categorizar los diferentes tipos de suelos con base en sus propiedades físicas y mecánicas. Este proceso es esencial para la planificación y ejecución de proyectos de construcción y para garantizar la estabilidad y



seguridad de las estructuras. En este marco conceptual, se describen los principales sistemas y criterios utilizados para la clasificación de suelos, así como los conceptos clave que sustentan esta práctica.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es ampliamente utilizado en la ingeniería geotécnica. Clasifica los suelos en base a su tamaño de partículas y sus propiedades plásticas. Los suelos se dividen en tres categorías principales:

- Gravias (G): partículas mayores a 2 mm.
- Arenas (S): partículas entre 0.075 mm y 2 mm.
- Finos: partículas menores a 0.075 mm, que se subdividen en:
 - Limosa (M): poca o ninguna plasticidad.
 - Arcillosa (C): alta plasticidad.

Además, se utilizan letras adicionales para describir características específicas, como bien gradado (W) o mal gradado (P), y para identificar la plasticidad de los suelos finos (L para baja plasticidad y H para alta plasticidad).

Clasificación de Suelos de AASHTO

La clasificación de suelos de la Asociación Americana de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) se utiliza principalmente en la construcción de carreteras. Los suelos se clasifican en siete grupos (A-1 a A-7) según su tamaño de partículas y propiedades de consistencia. Además, los suelos se evalúan en términos de su idoneidad para su uso en la subbase y base de las carreteras.

Sistema de Clasificación de Suelos de FAO

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) utiliza un sistema de clasificación basado en el uso del suelo para la agricultura.



Este sistema clasifica los suelos en 30 grupos principales, conocidos como órdenes, que se basan en características como el color, la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica y la capacidad de retención de agua.

Sistema Canadiense de Clasificación de Suelos

Este sistema es utilizado principalmente en Canadá y clasifica los suelos en base a su horizonte de desarrollo y propiedades morfológicas. Los suelos se dividen en órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos, familias y series. Cada categoría proporciona información detallada sobre las propiedades y el comportamiento del suelo.

Sistema de Clasificación de Suelos de USDA

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) utiliza un sistema de clasificación de suelos que se basa en la taxonomía del suelo. Los suelos se clasifican en órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos, familias y series. Este sistema es muy detallado y se utiliza ampliamente en estudios agrícolas y medioambientales.

Importancia de la Clasificación de Suelos: La correcta clasificación de los suelos es crucial para:

- Determinar la idoneidad de los suelos para diferentes usos.
- Prevenir problemas estructurales en edificaciones y obras civiles.
- Optimizar el uso del suelo en la agricultura.
- Proteger y gestionar adecuadamente los recursos naturales.

2.2.1.4 Compactación de los suelos

La compactación de suelos es un proceso fundamental en la ingeniería geotécnica que busca aumentar la densidad del suelo mediante la reducción de los vacíos de aire, mejorando así sus propiedades mecánicas y su capacidad de carga. Este



proceso es crucial en la construcción de infraestructuras como carreteras, aeropuertos, presas y edificios, donde la estabilidad y durabilidad de las estructuras dependen en gran medida de las características del suelo subyacente. A continuación, se presenta el marco conceptual para la compactación de suelos, describiendo sus principios, métodos y aplicaciones en proyectos de ingeniería.

1. Principios de la Compactación de Suelos

La compactación es el proceso mediante el cual se aumenta la densidad del suelo mediante la aplicación de energía mecánica. Este proceso reduce el volumen de vacíos de aire en el suelo, mejorando sus propiedades de resistencia y disminuyendo su compresibilidad y permeabilidad.

Objetivos de la Compactación

Los principales objetivos de la compactación de suelos son:

- Aumentar la densidad del suelo: Mejora su capacidad portante y estabilidad.
- Reducir la permeabilidad: Minimiza la infiltración de agua, reduciendo el riesgo de licuefacción y asentamientos diferidos.
- Mejorar la resistencia al corte: Incrementa la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo.
- Disminuir la compresibilidad: Reduce la posibilidad de asentamientos excesivos bajo cargas estructurales.

2. Factores que Afectan la Compactación

Tipo de Suelo: La compactación varía según el tipo de suelo. Los suelos granulares (gravas y arenas) son más fáciles de compactar que los suelos cohesivos (limos y arcillas). Los suelos con partículas bien graduadas tienden a compactarse mejor que los suelos uniformemente graduados.

Contenido de Humedad: El contenido de humedad del suelo es un factor crítico en la compactación. Para cada tipo de suelo, existe un punto ideal para el contenido de



humedad que maximiza la densidad seca. La compactación puede ser un problema cuando hay exceso o escasez de humedad.

Energía de Compactación: La cantidad de energía aplicada durante el proceso de compactación influye significativamente en la densidad alcanzada. Esta energía puede variar según el equipo y método de compactación utilizado.

3. Métodos de Compactación

Ensayo Proctor: El ensayo Proctor es un método de laboratorio utilizado para determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo. Existen dos variantes principales: el Proctor estándar y el Proctor modificado, que se diferencian en la cantidad de energía aplicada. El resultado del ensayo proporciona la DMS y el CHO.

Equipos de Compactación

- Rodillos vibratorios: Utilizados principalmente para suelos granulares.
- Rodillos pata de cabra: Ideales para suelos cohesivos.
- Compactadores de placa vibratoria: Eficaces en áreas confinadas y para suelos granulares.
- Pisones: Utilizados para compactar en zanjas y áreas pequeñas.

4. Aplicaciones de la Compactación de Suelos

Construcción de Carreteras y Pavimentos: La compactación es esencial para proporcionar una base estable y duradera en la construcción de carreteras y pavimentos. Mejora la capacidad portante de la subrasante y las capas de base y subbase.

Construcción de Cimentaciones: Para edificios y otras estructuras, la compactación del suelo garantiza una base firme, reduciendo el riesgo de asentamientos diferidos y mejorando la estabilidad estructural.



Presas y Terraplenes: En la construcción de presas y terraplenes, la compactación del suelo es crucial para prevenir filtraciones y asegurar la estabilidad del cuerpo de la estructura.

5. Importancia de la Compactación en la Ingeniería Geotécnica

La compactación adecuada del suelo es fundamental para la seguridad y durabilidad de las infraestructuras. Una compactación deficiente puede resultar en asentamientos excesivos, fallos estructurales y problemas de estabilidad. Por tanto, el conocimiento y la aplicación correcta de los principios de compactación son esenciales para el éxito de los proyectos de ingeniería civil.

2.2.1.5 Prueba de Proctor

El ensayo Proctor Modificado es una prueba de laboratorio esencial en la ingeniería geotécnica, utilizada para determinar la relación óptima entre la densidad seca de un suelo y su contenido de humedad bajo condiciones de compactación específicas. Este ensayo es fundamental para el diseño y construcción de proyectos de infraestructura, garantizando que los suelos empleados como base o subbase cumplan con los requisitos de densidad y estabilidad necesarios para soportar cargas estructurales.

Historia y Desarrollo

El ensayo Proctor original fue desarrollado por R. R. Proctor en la década de 1930 para ayudar a los ingenieros a determinar la compactación óptima de los suelos en proyectos de construcción de presas y carreteras. Posteriormente, el ensayo Proctor Modificado fue introducido para proporcionar una medida más precisa de la compactación en situaciones donde se requiere una mayor densidad del suelo, utilizando un mayor esfuerzo de compactación (Proctor, 1933).



Fundamentos Teóricos

Conceptos Clave:

Densidad Seca (ρ_d): Es la masa de sólidos por unidad de volumen de suelo seco. Es un parámetro crucial para evaluar la compactación del suelo.

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_t} \quad \rho_d = \frac{M_s}{V_t}$$

donde M_s es la masa de sólidos y V_t es el volumen total del suelo.

Contenido de Humedad (w): Es la relación entre la masa del agua en el suelo y la masa de sólidos secos, expresada como un porcentaje.

$$w = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad w = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

donde M_w es la masa del agua.

Curva de Compactación: Gráfica que relaciona la densidad seca con el contenido de humedad. La cúspide de la curva indica la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad.

Densidad Seca Máxima (MDS) y Contenido Óptimo de Humedad (OCH):

Son los valores correspondientes al punto máximo en la curva de compactación. Estos valores indican las condiciones bajo las cuales el suelo alcanza su máxima compactación.

Principios de compactación:

La compactación de suelos mejora sus propiedades mecánicas, aumentando su densidad y reduciendo su porosidad, lo cual incrementa su capacidad de soporte y estabilidad. El ensayo Proctor Modificado aplica un esfuerzo de compactación estandarizado para simular las condiciones de campo y determinar las mejores condiciones de compactación para un suelo específico (Holtz, Kovacs, & Sheahan, 2011).

2.2.1.6 C.B.R

El Índice de Capacidad de Soporte de California (CBR, por sus siglas en inglés: California Bearing Ratio) es un método ampliamente utilizado para evaluar la resistencia de un suelo, particularmente en el diseño de pavimentos y caminos. Desarrollado por el Departamento de Transporte de California en la década de 1920, el CBR es un ensayo empírico que mide la capacidad de un suelo para soportar cargas en comparación con un material de referencia (Gabr et al., 2010).

Fundamentos del ensayo CBR

El ensayo CBR consiste en medir la resistencia de un suelo compactado, utilizando un pistón de penetración estándar bajo condiciones controladas de humedad y densidad. El valor CBR se expresa como un porcentaje, comparando la fuerza necesaria para penetrar el suelo con la fuerza requerida para penetrar una piedra triturada estándar (ASTM D1883-16).

$$\text{CBR}(\%) = \left(\frac{\text{Carga sobre el suelo de prueba}}{\text{Carga sobre el material estándar}} \right) \times 100$$

Procedimiento del ensayo CBR

El procedimiento del ensayo CBR implica varias etapas críticas:

- **Preparación de la Muestra:** El suelo se compacta en un molde estándar a una densidad y contenido de humedad específicos.
- **Inmersión:** La muestra compactada puede ser sumergida en agua durante 4 días para simular condiciones saturadas, dependiendo de las especificaciones del proyecto.
- **Penetración:** Se utiliza un pistón de 50 mm de diámetro para penetrar la muestra a una tasa constante. Las cargas se registran a penetraciones de 2.5 mm y 5 mm.

Aplicaciones del Ensayo CBR

El ensayo CBR se utiliza principalmente en la ingeniería de pavimentos para:



- **Diseño de Pavimentos:** Determina el espesor de las capas de subrasante, subbase y base necesarias para soportar las cargas de tráfico esperadas (Huang, 2004).
- **Evaluación de Suelos Naturales y Mejorados:** Permite la comparación de suelos naturales y suelos estabilizados con aditivos como la cal, el cemento y otros estabilizadores (Sherwood, 1993).
- **Control de Calidad:** Asegura que los materiales utilizados en la construcción cumplen con los requisitos de diseño especificados (Bowles, 1992).

Factores que afectan el CBR

Diversos factores influyen en el valor CBR de un suelo, incluyendo:

- **Contenido de Humedad:** El valor CBR disminuye con el aumento del contenido de humedad del suelo debido a la reducción de la cohesión y fricción interna (Das, 2006).
- **Densidad de Compactación:** Suelos más densamente compactados tienden a tener mayores valores de CBR debido a la reducción de vacíos y aumento de la resistencia (Holtz y Kovacs, 1981).
- **Tipo de Suelo:** Los suelos granulares típicamente muestran valores de CBR más altos en comparación con suelos arcillosos debido a sus propiedades de fricción interna (Terzaghi et al., 1996).
- **Presencia de Materiales Estabilizantes:** La adición de estabilizantes como cal, cemento y cenizas volantes puede aumentar significativamente el valor CBR al mejorar las propiedades mecánicas del suelo (Bell, 1996).

Interpretación de resultados

La interpretación de los resultados del ensayo CBR requiere considerar las condiciones específicas del proyecto, como la carga de tráfico y las condiciones



ambientales. Los valores típicos de CBR para diferentes materiales se utilizan como referencia para el diseño de pavimentos:

- Suelos Arcillosos: CBR de 2% a 5%
- Suelos Arenosos: CBR de 10% a 30%
- Material Granular: CBR de 20% a 80% (Huang, 2004)

Mejoramiento del CBR del suelo

Las técnicas de mejoramiento del suelo se utilizan para aumentar el valor CBR y mejorar la capacidad de soporte del suelo. Algunas técnicas comunes incluyen:

- Estabilización con Cal: La cal reduce la plasticidad del suelo y aumenta su resistencia, resultando en valores de CBR más altos (Bell, 1996).
- Estabilización con Cemento: El cemento incrementa la rigidez y la capacidad de carga del suelo, mejorando significativamente el valor CBR (Sherwood, 1993).
- Uso de Geotextiles: Los geotextiles se utilizan para mejorar la distribución de cargas y reducir la deformación, lo que puede aumentar los valores de CBR en suelos marginales (Koerner, 2005).

2.2.2 Estabilización de suelos

Una parte importante de la ingeniería geotécnica es la estabilización del suelo, que implica procedimientos mecánicos o la adición de materiales estabilizadores a los suelos para mejorar sus cualidades mecánicas y físicas. Si las instalaciones se van a construir en suelos inadecuados, este procedimiento es crucial para garantizar su estabilidad y longevidad. A continuación, se exponen en el marco conceptual los fundamentos, procedimientos y usos de la estabilización de suelos en proyectos de ingeniería civil.



1. Principios de la estabilización de suelos

Definición: La estabilización de suelos es el proceso de mejorar las propiedades del suelo para hacerlos más adecuados para la construcción. Esto se logra mediante la adición de materiales estabilizantes (químicos o naturales) o mediante métodos mecánicos que alteran la estructura del suelo.

Objetivos: Los principales objetivos de la estabilización de suelos son:

- Aumentar la capacidad de carga: Mejorar la resistencia del suelo para soportar cargas estructurales.
- Reducir la permeabilidad: Disminuir la infiltración de agua para evitar problemas de humedad y erosión.
- Mejorar la estabilidad volumétrica: Minimizar los cambios volumétricos debido a variaciones en el contenido de humedad.
- Incrementar la durabilidad: Hacer que el suelo sea más resistente a la degradación ambiental y a la acción de ciclos de congelación y deshielo.

2. Métodos de estabilización de suelos

Estabilización Mecánica: La estabilización mecánica implica la mejora de las propiedades del suelo mediante métodos físicos, como la compactación y la mezcla de diferentes tipos de suelos para obtener una granulometría óptima. Los métodos incluyen:

- Compactación: Uso de equipos mecánicos para aumentar la densidad del suelo.
- Mezcla de suelos: Combinación de suelos con diferentes características para mejorar la granulometría y la cohesión.

Estabilización Química: La estabilización química se realiza mediante la adición de agentes estabilizantes que reaccionan con las partículas del suelo para mejorar sus propiedades. Los estabilizantes más comunes son:



- Cal: Utilizada para reducir la plasticidad e incrementa la resistencia de suelos arcillosos.
- Cemento: Mejora la cohesión y la amplitud de carga del suelo.
- Polímeros: Utilizados para aumentar la resistencia y durabilidad del suelo.
- Asfalto: Empleado para estabilizar suelos en la construcción de pavimentos.

3. Factores que afectan la estabilización

- Tipo de Suelo: Las características del suelo, como la granulometría, el contenido de humedad y la plasticidad, influyen en la elección del método de estabilización y su eficacia.
- Condiciones Ambientales: Factores como la temperatura, la precipitación y el nivel freático pueden afectar el rendimiento de los materiales estabilizantes y la durabilidad del suelo estabilizado.
- Proporción de Estabilizante: La cantidad y tipo de estabilizante añadido al suelo deben ser cuidadosamente controlados para lograr los resultados deseados sin causar efectos adversos.

4. Aplicaciones de la estabilización de suelos

- Construcción de Carreteras: La longevidad y la capacidad de carga de las carreteras están garantizadas mediante la estabilización de los suelos de subrasante, subbase y base.
- Cimentaciones: En la construcción de edificios y otras estructuras, la estabilización de suelos es esencial para proporcionar una base sólida y estable, reduciendo el riesgo de asentamientos diferidos.
- Control de Erosión: La estabilización química y mecánica se emplea para prevenir la erosión de suelos en pendientes, taludes y áreas expuestas a la acción del agua.

5. Importancia de la estabilización de suelos en la ingeniería geotécnica

La estabilización de suelos es crucial para la ingeniería geotécnica, ya que permite el uso eficiente de suelos inadecuados para la construcción. Mejora la capacidad de carga, la durabilidad y la estabilidad de estructuras, y reduce los costos y tiempos de construcción al minimizar la necesidad de reemplazar suelos deficientes.

2.2.3 Cal

La cal es un material con una larga historia de uso en diversas aplicaciones que van desde la construcción hasta la agricultura. Se obtiene principalmente a partir de la calcinación de piedras calizas, un proceso que produce cal viva (óxido de calcio) y, posteriormente, cal hidratada (hidróxido de calcio).

Composición química y propiedades

La cal se compone principalmente de óxido de calcio (CaO) y, en su forma hidratada, de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2). Entre sus propiedades físicas y químicas destacan:

- **Reactividad:** La cal viva reacciona con agua para formar cal hidratada, liberando calor en el proceso (reacción exotérmica).
- **Alcalinidad:** La cal es altamente alcalina, con un pH superior a 12, lo que la hace efectiva en neutralizar ácidos.
- **Capacidad de endurecimiento:** Al reaccionar con dióxido de carbono en el aire, la cal hidratada se transforma en carbonato de calcio (CaCO_3), que es una sustancia sólida y resistente.

Producción y procesamiento de la cal

El proceso de producción de la cal incluye varias etapas clave:

- **Extracción:** La piedra caliza se extrae de canteras.



- **Calcinación:** La piedra caliza se calienta en hornos a temperaturas entre 900°C y 1000°C para liberar dióxido de carbono, produciendo cal viva.
- **Hidratación:** La cal viva se mezcla con agua para producir cal hidratada, un proceso que puede realizarse en plantas especializadas.

Aplicaciones de la cal

La cal tiene una amplia variedad de aplicaciones, entre las que se incluyen:

- **Construcción:** Uso en morteros, enlucidos y estabilización de suelos.
- **Tratamiento de Aguas:** Utilizada para el ajuste del pH y la precipitación de impurezas.
- **Agricultura:** Mejora la acidez del suelo y aporta calcio a las plantas.
- **Industria Química:** Participa en procesos como la producción de acetileno, papel, y en la purificación del azúcar.

Impacto ambiental y sostenibilidad

El uso y producción de la cal tienen consideraciones ambientales significativas:

- **Emisiones de CO₂:** La calcinación de piedra caliza libera CO₂, contribuyendo al cambio climático. Se están investigando métodos para capturar y reutilizar este CO₂.
- **Rehabilitación de Canteras:** La explotación de canteras puede causar alteraciones significativas en el paisaje y la biodiversidad. Las mejores prácticas incluyen la rehabilitación de sitios post-extracción.
- **Sostenibilidad en la Construcción:** La cal, especialmente en forma de morteros de cal, ofrece una alternativa más sostenible y menos energéticamente intensiva en comparación con el cemento Portland.

Normativas y estándares

El uso de la cal está regulado por diversas normas y estándares internacionales que aseguran la calidad y seguridad del material. Entre ellos destacan:



- ASTM C150: Estándar de especificación para la cal en la construcción.
- EN 459: Norma europea para cal de construcción.
- ISO 9001: Sistemas de gestión de calidad aplicables en la producción de cal.

2.2.3.1 Tipos de cal

La cal se clasifica en varios tipos según su composición química, proceso de fabricación y uso específico. A continuación, se describen los principales tipos de cal y sus características:

Cal Viva (Óxido de Calcio - CaO): La cal viva se obtiene a partir de la calcinación de la piedra caliza a temperaturas elevadas (900-1000°C). Es una sustancia altamente reactiva y básica.

Características:

- **Reactividad:** Reacciona vigorosamente con agua para formar cal hidratada, liberando una cantidad significativa de calor.
- **Uso:** Principalmente utilizada en la industria del acero, en la producción de vidrio, en la construcción para la fabricación de morteros y en la estabilización de suelos.

Cal Hidratada (Hidróxido de Calcio - Ca (OH)₂): La cal hidratada se produce mediante la adición de agua a la cal viva. Este proceso es conocido como hidratación o apagado de la cal.

Características:

- **Menor reactividad:** Comparada con la cal viva, es menos reactiva y más segura de manejar.
- **Uso:** Se utiliza en la construcción, en la fabricación de morteros y enlucidos, en el tratamiento de aguas para ajuste de pH, en la agricultura para mejorar la acidez del suelo, y en diversas aplicaciones químicas.



Cal Aérea: La cal aérea incluye tanto la cal viva como la cal hidratada y se caracteriza por su capacidad de endurecerse y adquirir resistencia al reaccionar con el dióxido de carbono del aire (carbonatación).

Características:

- Endurecimiento lento: Adquiere resistencia lentamente mediante la reacción con el CO_2 del aire para formar carbonato de calcio (CaCO_3).
- Uso: Ideal para morteros y enlucidos en restauración de edificios históricos debido a su permeabilidad y flexibilidad.

Cal Hidráulica: La cal hidráulica contiene componentes que le permiten endurecerse tanto en presencia de agua como en contacto con el aire. Se produce a partir de la calcinación de caliza impura que contiene arcillas y otros materiales silíceos.

Características:

- Rápido endurecimiento: Endurece rápidamente y adquiere buena resistencia tanto en ambientes secos como húmedos.
- Uso: Empleada en la construcción, especialmente en ambientes húmedos, en la fabricación de cementos naturales y en aplicaciones subacuáticas.

Cal Dolomítica: La cal dolomítica se obtiene a partir de la calcinación de dolomita (carbonato doble de calcio y magnesio - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Características:

- Contenido de magnesio: Contiene un alto porcentaje de óxido de magnesio (MgO), además de óxido de calcio (CaO).
- Uso: Utilizada en la industria del acero, en la agricultura como acondicionador de suelos, y en el tratamiento de aguas.



Cal Agrícola: La cal agrícola, también conocida como enmienda caliza, es una forma de cal utilizada específicamente para la corrección de la acidez del suelo en la agricultura.

Características:

- Mejora del pH: Neutraliza la acidez del suelo, mejorando la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- Uso: Aplicada en campos agrícolas para aumentar la productividad y mejorar las condiciones del suelo.

Cal Sinterizada: La cal sinterizada se obtiene mediante un proceso de sinterización, que implica la fusión de partículas de cal a altas temperaturas sin llegar a su punto de fusión.

Características:

- Alta densidad y resistencia: Resulta en un producto con alta densidad y resistencia, adecuado para aplicaciones industriales.
- Uso: Utilizada en la fabricación de ladrillos y refractarios para la industria del acero.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Cal hidratada

La cal hidratada, a veces denominada hidróxido de calcio o cal apagada, es una sustancia inorgánica que tiene la fórmula química $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Se adquiere mediante la interacción controlada de la cal viva (óxido de calcio) con el agua. El proceso, denominado "apagado con cal", genera hidróxido de calcio y libera una cantidad sustancial de energía térmica.

2.3.2 Cal viva

El óxido de calcio, o cal viva, es un compuesto químico inorgánico que tiene la fórmula CaO . La principal forma de conseguirlo es calcinando piedra caliza, lo que



implica calentar la roca a temperaturas muy altas (alrededor de 900-1000°C). Este proceso libera dióxido de carbono y deja óxido de calcio.

2.3.3 CBR

Como parte de la prueba CBR, se introduce un pistón típico en el suelo a una velocidad y profundidad predeterminadas. La fuerza necesaria para impulsar el pistón hacia la tierra se contrasta con la carga necesaria para impulsar el mismo pistón hacia la tierra típica, que a menudo es una combinación de grava triturada y arena, en circunstancias idénticas. El término utilizado para describir esta relación en forma porcentual es el índice de capacidad de carga de California.

2.3.4 Índice de plasticidad

Los ingenieros civiles y geotécnicos utilizan el índice de plasticidad para describir qué tan maleable es un suelo. Se determina combinando los resultados de dos pruebas comúnmente utilizadas: el límite plástico y el límite líquido.

2.3.5 Suelo

Los minerales, las plantas, los animales, el agua y el aire forman lo que se conoce como suelo, la capa superior de la corteza terrestre. Alberga una amplia variedad de criaturas, controla el flujo de agua y dióxido de carbono, proporciona nutrientes vitales y apoya físicamente el desarrollo de las plantas, lo que lo convierte en un recurso importante para toda la vida en la Tierra.

2.3.6 Proctor modificado

Como parte del protocolo de prueba Proctor modificado, una muestra de suelo se compacta en capas dentro de un molde cilíndrico convencional utilizando un apisonador convencional que se deja caer desde una altura predeterminada. A medida que se compactan las capas de suelo, se controla su contenido de humedad. La masa y el



volumen de la muestra se calculan tras retirarla del molde una vez compactadas todas las capas.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la Investigación

Según Hernández (2018) señala que la mayoría de las personas ven el "diseño" como una etapa continua en la que los sistemas y/o técnicas utilizadas en el desarrollo de la investigación se evalúan cuidadosamente para producir los resultados deseados. El estudio empleó una estrategia experimental, manipulando los elementos de cal viva y cal hidratada en cantidades variables y mezclándolas con la subrasante.

3.2 Método de Investigación

Según Balcells (2018) el método de estudio consiste en una colección metódica de procesos lógicos se emplean para realizar investigaciones científicas, verificar hipótesis y evaluar grupos de estudio. La metodología de este estudio se basó en el método científico. En este marco, se empleó el método inductivo para producir un resultado concluyente para la investigación.



3.3 Nivel y tipo de la investigación

3.3.1 Nivel de la Investigación

Conforme a Guevara et al. (2020), El nivel de estudio es la cantidad de datos recopilados y analizados para respaldar o refutar teorías, que luego se comparan. El nivel de estudio es proporcional al área de estudio y a los recursos empleados para la investigación.

La investigación realizada utiliza un nivel explicativo de explicación, ya que la variable independiente (cal viva e hidratada) es deliberadamente manipulada durante su incorporación al suelo, con el fin de examinar las mejoras en las propiedades mecánicas y físicas del material resultante. la subrasante de la carretera examinada.

3.3.2 Tipo de la investigación

Según Yuni & Urbano (2021) Un tipo de investigación conocida como "estudio aplicado" analiza un tema en particular sin pensar en cómo se utilizará en el momento, aunque reconoce que los resultados podrían conducir a nuevos bienes y avances científicos.

El estudio actual puede clasificarse como investigación aplicada porque emplea técnicas prácticas de muestreo, experimentos de laboratorio y análisis de resultados para aplicar el conocimiento adquirido en investigaciones anteriores.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

Según Pino (2018) En la mayoría de los casos, el conjunto completo de elementos que se estudian se denomina población. Para describir cada componente de la muestra se utiliza una entidad, en lugar de una persona, familia, empresa o incluso un período de tiempo específico. (p. 449).

La población de investigación consiste en carreteras de nivel transitable para vehículos en el área de San Miguel.

3.4.2 Muestra

Según Pino (2018) Una muestra representativa es aquella que refleja las características y cualidades de la población examinada en su conjunto. (p. 450).

Los 1.80 km de la Avenida Horacio en el barrio San Miguel son el objeto de esta investigación. En esta región se excavaron tres pozos para recolectar muestras.

Tabla 2

Cantidad de muestras

| Descripción | IP | Grado Compactación | CBR |
|--------------|----|--------------------|-----|
| SN | 3 | 3 | 3 |
| SN + 2% C.V. | 3 | 3 | 3 |
| SN + 4% C.V. | 3 | 3 | 3 |
| SN + 6% C.V. | 3 | 3 | 3 |
| SN + 1% C.H. | 3 | 3 | 3 |
| SN + 3% C.H. | 3 | 3 | 3 |
| SN + 5% C.H. | 3 | 3 | 3 |

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnicas

Se pueden utilizar varios enfoques para recopilar datos, como entrevistas, encuestas, cuestionarios, escalas y observación (Carrasco, 2018).

El observador empleó los siguientes procedimientos y protocolos para recopilar datos para este estudio:

- Se utilizó la metodología basada en la observación para determinar las características del suelo de subrasante en estudio. Esta técnica incorpora cuantificaciones y mediciones de datos.



Los datos generados a partir de investigaciones de laboratorio e in situ se analizaron mediante técnicas de síntesis como parte del enfoque de procesamiento y análisis de la información.

3.5.2 Instrumentos

Sánchez et al. (2021) En una investigación científica, el uso de equipos es crucial para obtener datos relevantes. Estas herramientas facilitan la recopilación de datos mediante el uso de diversos enfoques, lo que a su vez permite dilucidar y documentar los procesos experimentales relevantes.

Para la etapa de recolección de datos en el estudio realizado, se consideraron los siguientes instrumentos:

- **Fichas de control de muestreo:** Utilizadas para registrar y verificar la toma de muestras de manera sistemática y asegurar la representatividad de las mismas.
- **Formatos de análisis de datos de laboratorio:** Estructuras prediseñadas para la organización y análisis de los datos obtenidos en el laboratorio, facilitando la sistematización y la precisión en los resultados.
- **Certificados de control de calidad de laboratorio:** Documentos que certifican que los procedimientos y resultados de laboratorio cumplen con los estándares de calidad establecidos, garantizando la fiabilidad de los datos.
- **Softwares de análisis de datos:** Herramientas informáticas especializadas que permiten el procesamiento, análisis y visualización de los datos recolectados, mejorando la eficiencia y exactitud del análisis.
- **Fichas de interpretación de resultados:** Documentos utilizados para interpretar los datos obtenidos, proporcionando una guía estructurada para la comprensión y evaluación de los resultados.

3.6 Plan de recolección de datos

Se emplearon varias herramientas durante la parte de recopilación de datos de la investigación. Además de las pautas estadísticas y metodológicas para la formación de hipótesis, se empleó una variedad de herramientas. Estas herramientas incluyeron formatos para análisis de datos de laboratorio, certificaciones de control de calidad a nivel de laboratorio, software para análisis de datos y fichas de interpretación de hallazgos, entre otras.

3.6.1 Desarrollo del plan de investigación

ETAPA I: BUSQUEDA DE INFORMACION

En el primer paso, se exploran los datos vinculados al tema de investigación. Se trata de analizar la legislación aplicable, libros, artículos de revistas y tesis que serán fundamentales para la realización de la presente investigación.

ETAPA II: Lugar de la vía

Se realizó tres calicatas en diferentes puntos en la vía que comprende la avenida Horacio del distrito de San Miguel.

Figura 1

Ubicación de la vía



Nota. Google maps

Tabla 3*Cantidad de muestras*

| Calicata | Tramo | Km |
|----------|---------------|-------|
| 1 | 0+000 – 0+200 | 0+500 |
| 2 | 0+300 – 0+600 | 0+600 |
| 3 | 0+700 – 0+900 | 0+900 |

Los pozos se cavaron en los lugares especificados para recolectar muestras de suelo y roca que serían típicas de la subrasante de la carretera.

A la hora de recoger muestras de material, era importante escoger muestras que fueran típicas del conjunto. Para ello utilizamos recipientes sellados para asegurar que los materiales conservaran su humedad natural.

ETAPA III: Ensayos de laboratorio

Contenido de humedad.

Procedimiento:

- Las personas que realizan la prueba deben ser un buen reflejo de la población en general.
- Las muestras húmedas deben pesarse colocándolas en una bolsa y luego registrando el peso.

Se requiere una temperatura de 110 ± 5 °C para secar la muestra en un horno.

Cuando el material esté completamente seco lo sacamos del horno y dejamos enfriar a temperatura ambiente.

- Una vez finalizado el proceso, se mide el peso de la muestra seca y se registran adecuadamente los datos.



CÁLCULOS:

% humedad:

$$W(\%) = \frac{W_W}{W_S} \times 100$$

Pruebas de límites de consistencia.

Procedimientos de LP:

- Primero se logra una forma elipsoidal usando la muestra y luego se lamina manualmente hasta obtener una forma cilíndrica.
- El proceso se repite según sea necesario hasta que el cilindro colapse en los diámetros prescritos; si esto falla a 3,2 mm, se continúa la técnica hasta que lo haga.
- Para facilitar el proceso de pesaje, la muestra fragmentada se transfiere delicadamente a recipientes o vidrio.
- Para este método, necesitarás al menos 6 gramos de material.

Posteriormente se repite el estudio de la humedad relativa.

Por último, pero no menos importante, el peso de la muestra seca se registra después de la documentación adecuada de los resultados.

CÁLCULOS:

$$LP = \frac{W_W}{W_S} \times 100$$

Procedimientos LL:

- Se coloca delicadamente una bandeja de losa y se mezcla con un volumen preciso de agua destilada, que oscila entre 0,015 y 0,020 litros.
- Se realiza un aumento regulado y progresivo de la humedad.
- Transfiere una pequeña porción de la mezcla a la olla, teniendo cuidado de asentarla en la base, una vez terminada la mezcla.
- Después de eso, use una espátula para presionar la mezcla y alisarla.



- Una vez que la mezcla esté alisada hasta un espesor máximo de 1 cm, se puede continuar con la operación de nivelación.
- Se utilizan movimientos cuidadosos con la ranuradora alrededor de todo el diámetro de la muestra para dispersar la mezcla en la copa de bronce.
- A un ritmo de dos caídas por segundo, el contenedor se eleva y se bloquea girando la palanca; esto hace que las dos mitades de la mezcla de tierra se encuentren en el agujero de la base.
- Registrar la cantidad de golpes necesarios para sellar la ranura de 13 mm de ancho es el objetivo del trabajo.
- Se recogieron muestras de suelo en el lugar preciso donde ocurrió el contacto. Antes del secado en horno se midió, pesó y colocó minuciosamente la muestra de suelo en una tara. Registramos los datos y estimamos la humedad relativa.

CÁLCULOS:

$$LL = \frac{W_W}{W_S} \times 100$$

Procesos índices plástico:

$$IP = LL - LP$$

Análisis granulométrico.

Procedimiento:

- La consideración de las características del material es el primer paso en el análisis de granulometría; por ejemplo, a los suelos gruesos se les da una cantidad mayor y a los suelos finos un peso menor.
- En la técnica experimental primero se determina la masa de la muestra de material y luego se coloca encima de los tamices.



- El flujo continuo de materiales a través de la malla se logra moviendo metódicamente los tamices alrededor de circunferencias y de lado a lado durante la operación de tamizado manual.
- A continuación, usamos el peso para determinar cuánto material queda todavía en cada filtro.

CÁLCULOS:

Si desea saber cuánto material pasa por cada filtro, cuánto se acumula y cuánto pasa, el análisis granulométrico es el camino a seguir. En matemáticas básicas, estos valores se adquieren realizando una secuencia de operaciones.

Prueba de Proctor modificado.

Procesos:

- El procedimiento la selección en recoger una muestra representativa, con un peso de entre 2,5 y 3 kg. Es fundamental que la muestra esté seca.
- Las partículas mayores que el tamiz No. 4 son eliminadas de la muestra durante el proceso de tamizado.
- Después de eso, se mezcla con agua para obtener una muestra algo húmeda. Todas las muestras muestran un aumento constante en el contenido de agua.
- La placa base se utiliza para medir el peso del molde supervisor.
- El conjunto de datos se divide en cinco grupos casi idénticos.
- Para disminuir la pérdida de tierra al compactar, se utilizan moldes y se agregan collarines o extensiones adicionales.
- Aplicar a 56 golpes con altura de caída 0,45 m se inicia el proceso de compactación.
- Una vez que se hayan comprimido todas las capas, retire el collar y use la regla para cortar la muestra compactada que sobresale de la parte superior del molde.



- Después de mezclar el moho con la tierra húmeda, se mide su peso para registrar los hallazgos.
- Una vez completado, tome muestras de cien gramos cada una de la parte superior e inferior del molde para representar la muestra. Para pesarlas, las muestras se colocan adecuadamente dentro de un recipiente determinado.
- Por último, se seca en un horno y todos los datos importantes se registran con precisión.

CBR.

Procedimiento:

- Para empezar, elegiremos una muestra representativa, que estará seca y pesará alrededor de 5,5 kg.
- Se utilizan tres tamaños diferentes de tamices, $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y No. 4, para filtrar la muestra. Después de retirar la muestra de la malla de $\frac{3}{4}$ ", se agrega una cantidad equivalente de material del tamiz No. para reemplazarla. 4.
- El grado de compactación (MDS y OCH) se derivan de los datos recopilados del supervisor.
- Se pesa tanto el molde como su base.
- Las probetas se introducen en el molde, que controla la cantidad de agua hasta alcanzar la humedad ideal. Esto se logra dando a cada capa 12, 25 y 56 trazos.
- Después de aplicar las cargas, retire el collarín y nivele el material para asegurarse de que no queden huecos o lugares vacíos.
- Separar el disco esparcidor y el molde de la placa base. El siguiente paso es registrar el peso a medida que se invierte el molde y se reconstruye sobre la placa base.
- Cuando se mide la muestra, la placa perforada con vástago se coloca encima. Luego, se coloca encima un anillo de sobrecarga, con un valor mínimo de 10 lb, para imitar las fuerzas aplicadas por todos los estratos que lo soportan.



- Antes de sumergir el molde y la muestra en agua, asegúrese de pesarlos juntos. El primer hinchamiento se puede medir colocando el trípode en el borde del molde y alineando el vástago del dial con la placa perforada. Registrar la extensión es el siguiente paso.
- Coloque el molde que contiene el material en un tanque de agua y sumérjalo por completo, asegurándose de que el agua toque todos los lados del molde. Cuatro días, o unas 96 horas, es el tiempo estimado necesario para este proceso de saturación.
- Los datos sobre la hinchazón se registran después de la duración de saturación especificada y la expansión se mide calculando el cambio en la altura de la muestra.
- Para sacar el molde del tanque una vez que haya alcanzado la saturación, reserva 15 minutos para que escurra el agua. En esta etapa se mantienen en su lugar la placa perforada y los pesos suspendidos del techo.
- Después de eliminar el agua, se retiran los anillos y las placas perforadas y luego se mide la masa de los moldes que contienen la muestra saturada.
- Después de eso, las muestras se penetran, con un tiempo mínimo entre pesar la muestra e insertarla en el aparato de penetración para evitar retrasos innecesarios.
- La muestra se recubre nuevamente antes de preparar el pistón para pasar. Aplicando una fuerza de 44 N, los diales de carga y deformación se ajustan a cero.
- Utilice un temporizador para regular la velocidad de aplicación de carga al pistón de penetración, que debe mantenerse a 0,05 pulgadas por minuto.
- Existe documentación de lecturas de carga para diferentes penetraciones, centrándose en 0,1" y 0,2".
- Luego del paso anterior, se separan los moldes del equipo CBR y se toma una muestra del material cerca del lugar donde ocurrió la penetración.
- Por último, se calcula el contenido de humedad de la muestra y se registra su peso.



3.6.2 *Procesamiento de datos*

Para la presentación de los resultados, se emplearán cuadros que faciliten su visualización. Estos cuadros serán posteriormente analizados utilizando software especializado para cálculos y generación de gráficos, lo que permitirá una mejor comprensión e interpretación de los datos. La aplicación de estos procesos tiene como objetivo obtener resultados precisos mediante métodos confiables, asegurando que las conclusiones puedan ser interpretadas de manera clara y eficaz.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El examen comienza examinando las características físicas y mecánicas del suelo que componen la subrasante de la Vía. Se realiza un análisis de los hallazgos del suelo tras el empleo de cantidades variables de cal viva y cal hidratada. Este estudio muestra resultados de las combinaciones de suelo con los componentes antes mencionados.

4.1 Resultados.

4.1.1 *Propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.*

a) Humedad:

Tabla 4

Humedad de cada calicata

| Muestra | % Humedad |
|----------|-----------|
| M-01 | 18.77 |
| M-02 | 22.10 |
| M-03 | 22.92 |
| Promedio | 21.26 |

Se presenta el promedio del % humedad de los especímenes de las tres calicatas, resultando en una media del 20.26%.

Figura 3

Curva de la muestra 2

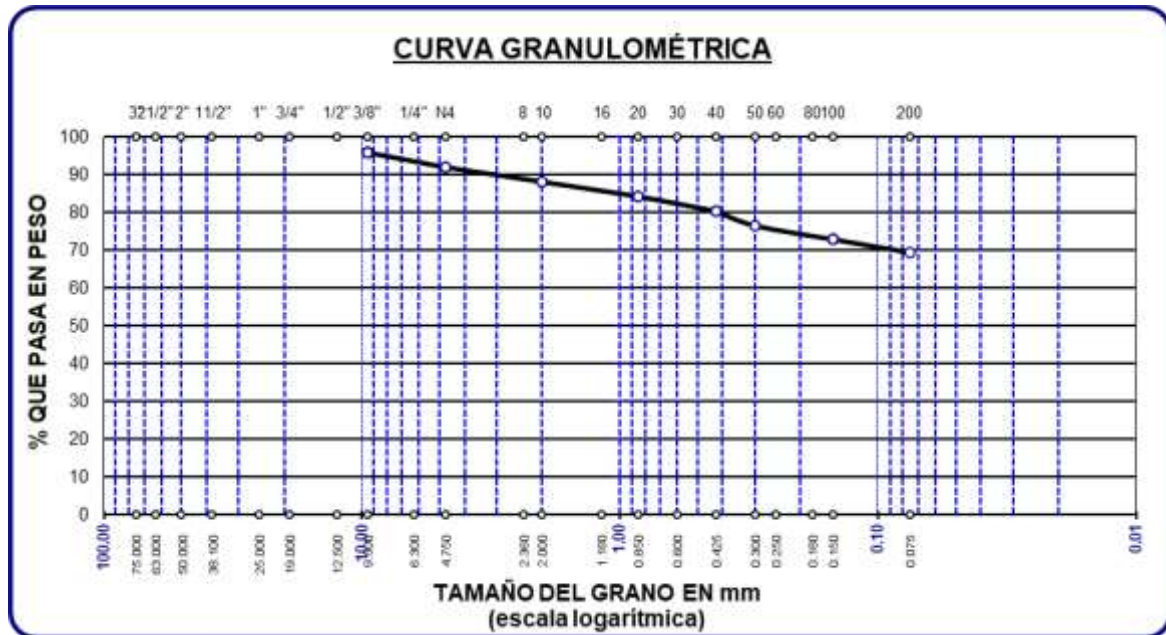
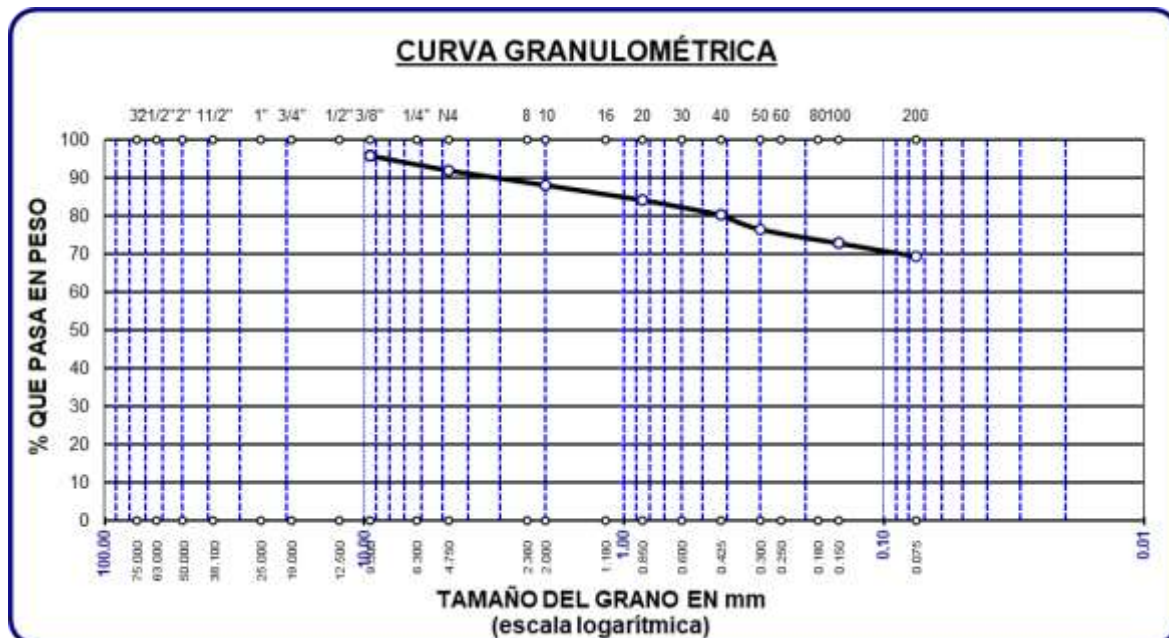


Figura 4

Curva de la muestra 3



c) Índice de plasticidad:

Este parámetro es la diferencia entre los límites líquido y plástico. A continuación, se resumen los resultados promedios:

Tabla 6*IP de SN de las muestras*

| Ca | Límites de Atterberg | | |
|----------|----------------------|--------|--------|
| | LL (%) | LP (%) | IP (%) |
| C-1 | 31.78 | 11.88 | 19.89 |
| C-2 | 32.74 | 12.13 | 20.61 |
| C-3 | 31.90 | 11.82 | 20.08 |
| Promedio | - | - | 20.19 |

Nota. Análisis en el laboratorio

Se observan los valores obtenidos de las pruebas, los cuales muestran un índice plástico promedio de 20.13%, indicando un índice plástico elevado.

d) Compactación:

El nivel de compactación se mide por densidad seca más alta que alcanza la muestra en condiciones ideales de humedad controlada.

Tabla 7*Grado de compactación de las muestras*

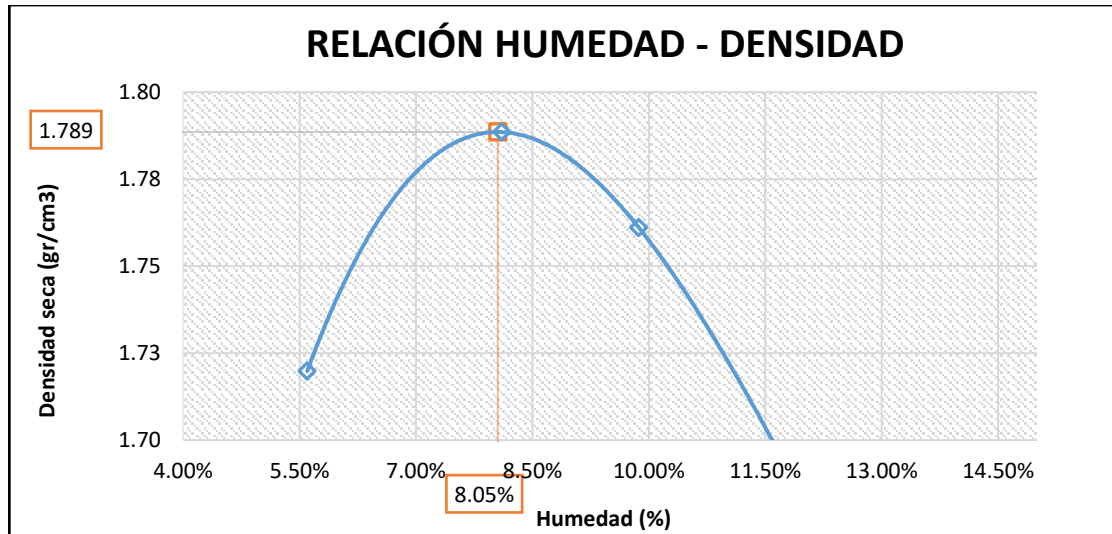
| ESPECIMEN | GC – Subrasante | |
|-----------|-----------------|---------|
| | MDS (gr/cc) | OCH (%) |
| C-1 | 1.789 | 8.05 |
| C-2 | 1.811 | 8.11 |
| C-3 | 1.766 | 7.92 |
| Promedio | 1.787 | 8.03 |

Nota. Análisis en el laboratorio

Se observan los resultados medios resultantes de MDS y la humedad óptima de las muestras, con una media de 1.787 g/cc para la MDS y un 8.03% para la OCH.

Figura 5

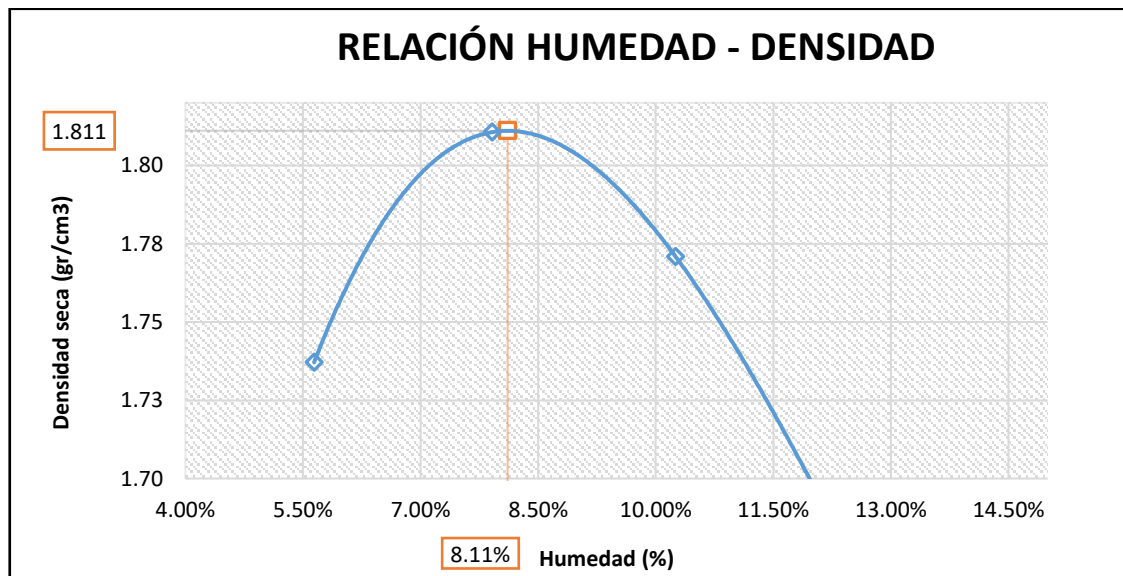
Curva de compactaciones de la M-1



El gráfico ilustra la correlación entre la humedad y las densidades del pozo 1, siendo el MDS de 1.789 gr/cc y el OCH de 8.05%.

Figura 6

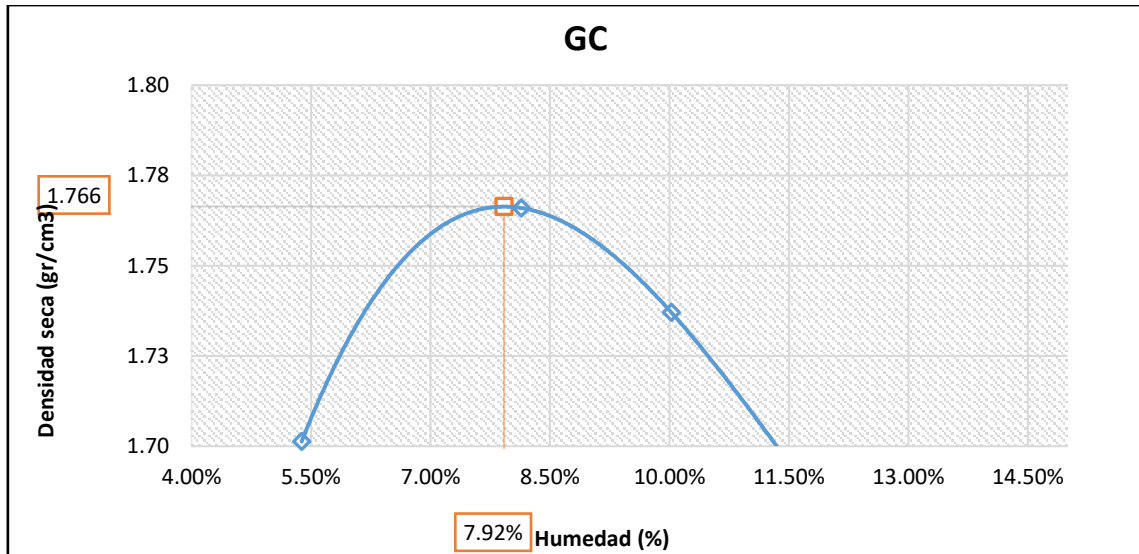
Curva de compactaciones de la M-2



La imagen ilustra la correlación entre la humedad y las densidades del pozo 2, siendo el MDS de 1.811 gr/cc y el OCH de 8.11%.

Figura 7

Curva de compactaciones M-3



La imagen ilustra la correlación entre la humedad y las densidades del pozo 2, siendo el MDS de 1.811 gr/cc y el OCH de 8.11%.

e) CBR

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

Tabla 8

CBR, de las muestras.

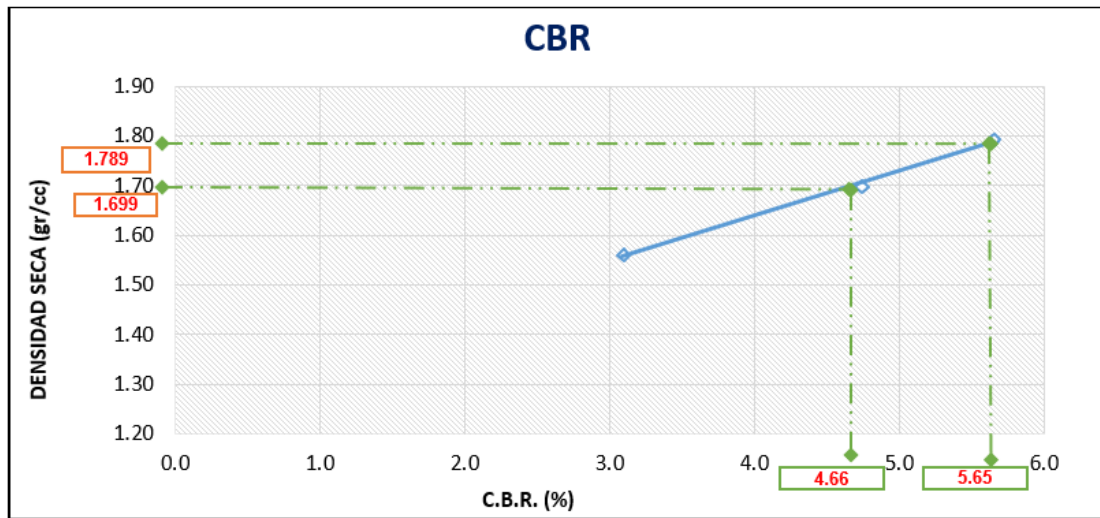
| Espécimen | CBR | |
|-----------|----------|---------|
| | CBR 100% | CBR 95% |
| M - 1 | 5.65 | 4.66 |
| M - 2 | 5.68 | 4.67 |
| M - 3 | 5.54 | 4.51 |
| Promedio | 5.62 | 4.61 |

Nota. Análisis en el laboratorio

Se miden las capacidades de soporte CBR de las muestras y se encuentra que son de 5,62 por ciento en promedio con 100 por ciento de MDS y de 4,64 por ciento en promedio con 95 por ciento de MDS.

Figura 8

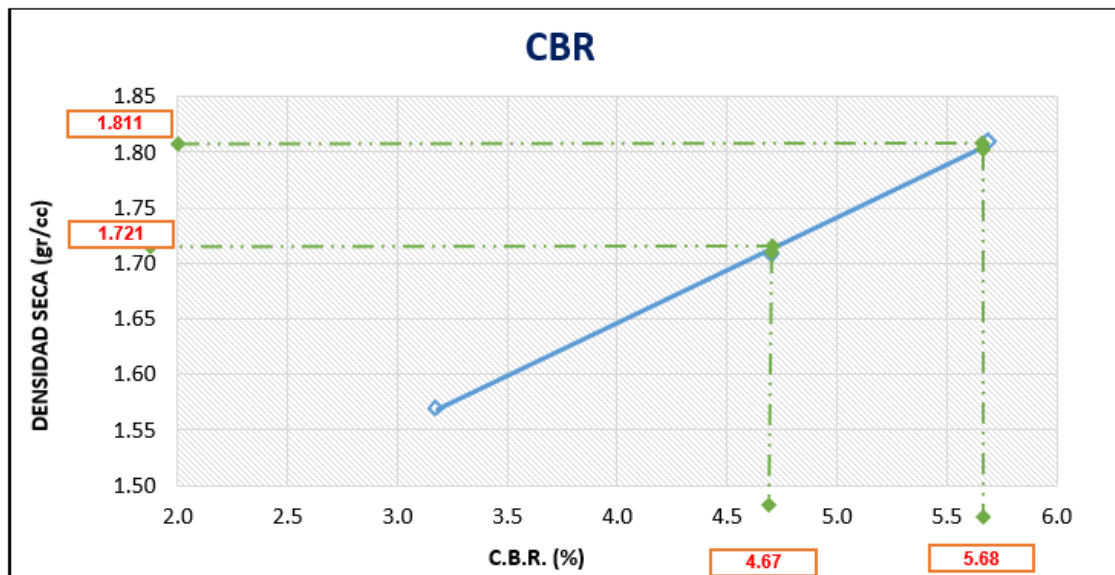
CBR de la calicata M-1



La figura presenta los valores de CBR y los espesores del espécimen del pozo 1, indicando que el CBR es del 4.66% al 95% de la MDS y del 5.65% al 100% de la MDS.

Figura 9

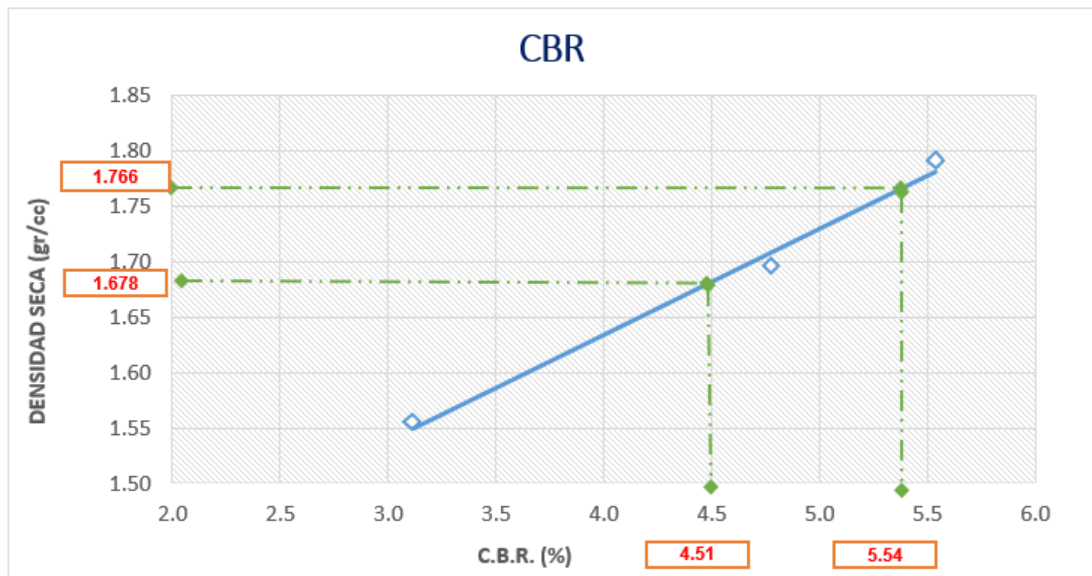
CBR de la calicata M-2



La figura presenta los valores de CBR y los espesores del espécimen del pozo 2, indicando que el CBR es del 4.67% al 95% de la MDS y del 5.68% al 100% de la MDS.

Figura 10

CBR de la calicata M-3



El gráfico muestra los valores de CBR y las densidades del espécimen obtenida del pozo

3. El valor de CBR es 4,51% al 95% de la MDS y 5,54% al 100% de la MDS.

4.1.2 Adición de cal viva y cal hidratada y su efecto en el índice de plasticidad.

Se presentan los valores resultantes del índice de plasticidad utilizando cal viva y cal hidratada en diferentes proporciones.

a) *Cal viva*

- CAL VIVA AL 2%

Tabla 9

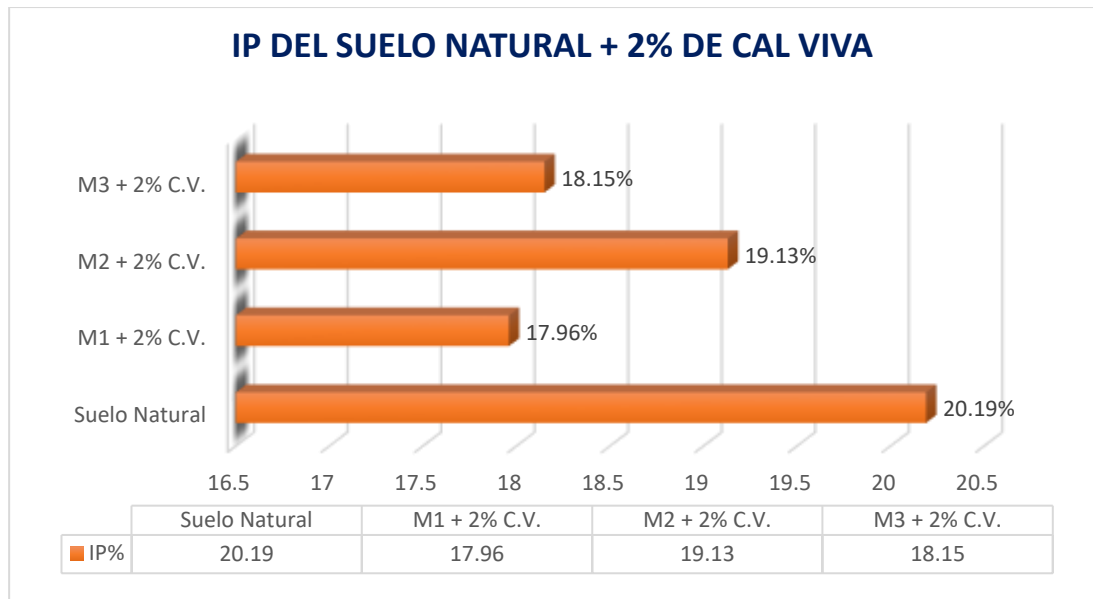
IP al combinar SN + 2% de Cal Viva

| Índice de Plasticidad – SN + 2% Cal viva | | |
|--|--------|--------------|
| Combinación | IP (%) | Promedio (%) |
| SN | 20.19 | - |
| M1 + 2% C.V. | 17.96 | |
| M2 + 2% C.V. | 19.13 | 18.41 |
| M3 + 2% C.V. | 18.15 | |

La tabla ilustra el IP de la muestra con empleo de un 2% de cal viva, dando como resultado un valor promedio de 18,41%.

Figura 11

ÍP del SN con empleo de 2% de cal viva



El diagrama ilustra el IP del suelo de subrasante original en comparación con el suelo de subrasante mezclado con un 2 % de cal viva. Indica una disminución del índice plástico cuando se añade cal viva.

- CAL VIVA AL 4%

Tabla 10

Índice plasticidad al combinar SN + 4% de Cal Viva

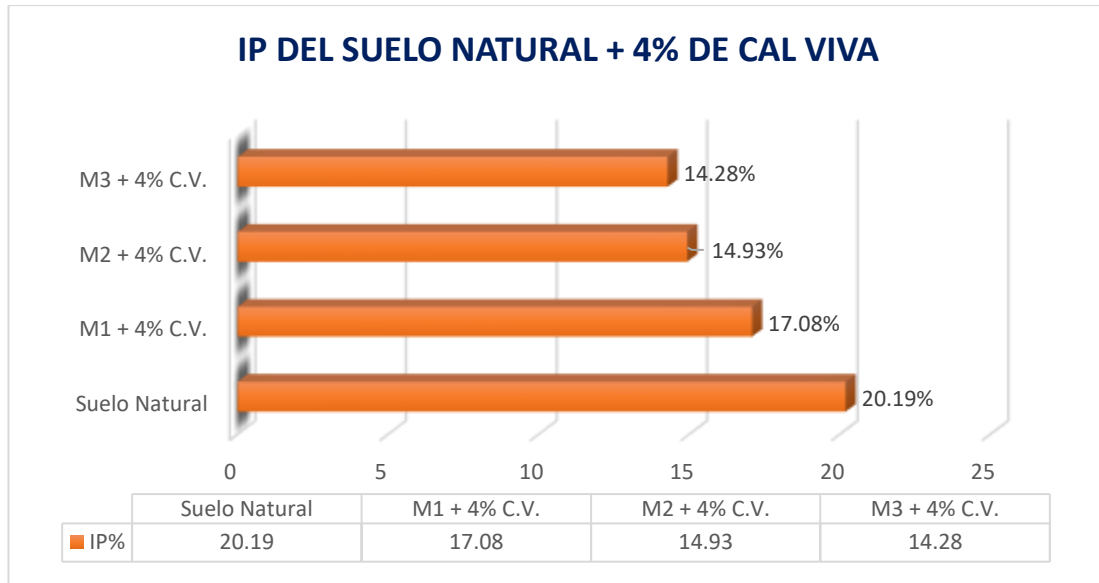
| Plasticidad – SN + 4% Cal viva | | |
|--------------------------------|--------|--------------|
| Combinación | IP (%) | Promedio (%) |
| SN | 20.19 | - |
| M1 + 4% C.V. | 17.08 | 15.41 |
| M2 + 4% C.V. | 14.93 | |
| M3 + 4% C.V. | 14.28 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla ilustra el IP, del espécimen con empleo de un 4% de cal viva, dando como resultado un valor promedio de 15,41%.

Figura 12

IP del SN con empleo de 4% de cal viva



La figura ilustra el IP del suelo de subrasante original y del suelo de subrasante tratado con cal viva. Indica una disminución del índice plástico cuando se añade un 4% de cal viva.

- CAL VIVA AL 6%

Tabla 11

Índice plasticidad al combinar SN + 6% de Cal Viva

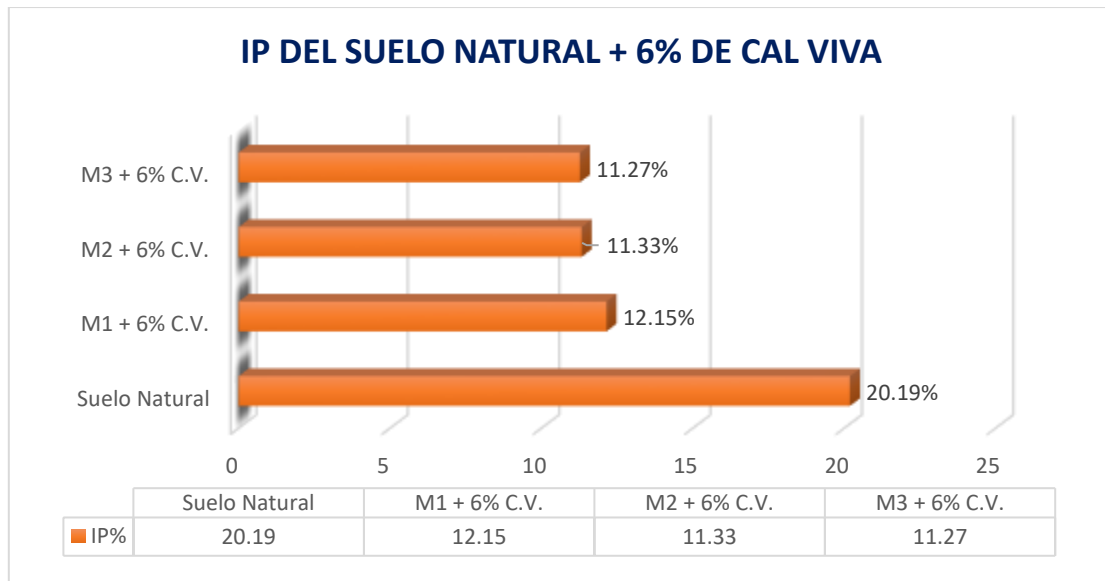
| Índice de Plasticidad – SN + 6% Cal viva | | |
|--|--------|--------------|
| Combinación | IP (%) | Promedio (%) |
| SN | 20.19 | - |
| M1 + 6% C.V. | 12.15 | |
| M2 + 6% C.V. | 11.33 | 11.58 |
| M3 + 6% C.V. | 11.27 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla muestra el ÍP de la muestra combinada con un 6% de cal viva, dando como resultado un valor promedio de 11,58%.

Figura 13

Índice de plasticidad del SN con empleo de 6% de cal viva



La figura ilustra el IP del suelo de subrasante original y del suelo de subrasante tratado con cal viva. Indica una reducción del índice de plasticidad cuando se añade un 6% de cal viva.

b) Cal hidratada

- CAL HIDRATADA 1%

Tabla 12

Índice plasticidad al combinar SN + 1% de Cal hidratada

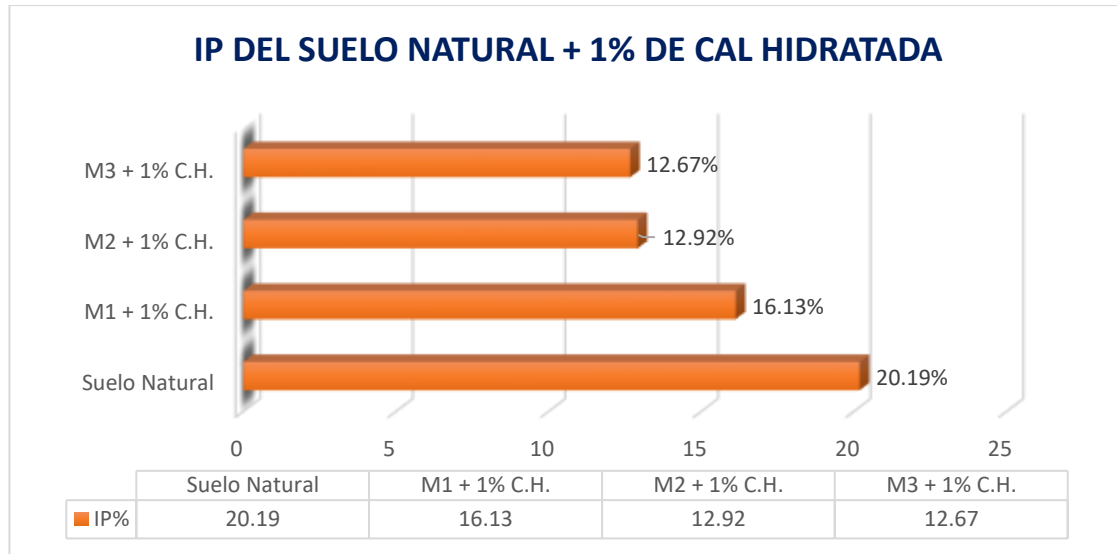
| Índice de Plasticidad – SN + 1% Cal hidratada | | |
|---|--------|--------------|
| Combinación | IP (%) | Promedio (%) |
| SN | 20.19 | - |
| M1 + 1% C.H | 16.13 | |
| M2 + 1% C.H | 12.92 | 13.91 |
| M3 + 1% C.H | 12.67 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla muestra el IP, de la muestra con empleo de 1% de cal hidratada, dando como resultado un valor promedio de 13,91%.

Figura 14

IP del SN con empleo de 1% de cal hidratada.



La figura ilustra el (IP) de la subrasante del suelo natural cuando se agrega cal hidratada. Es evidente que el índice plástico disminuye cuando se incorpora un 1% de cal hidratada.

- CAL HIDRATADA 3%

Tabla 13

Índice plasticidad al combinar SN + 3% de Cal hidratada

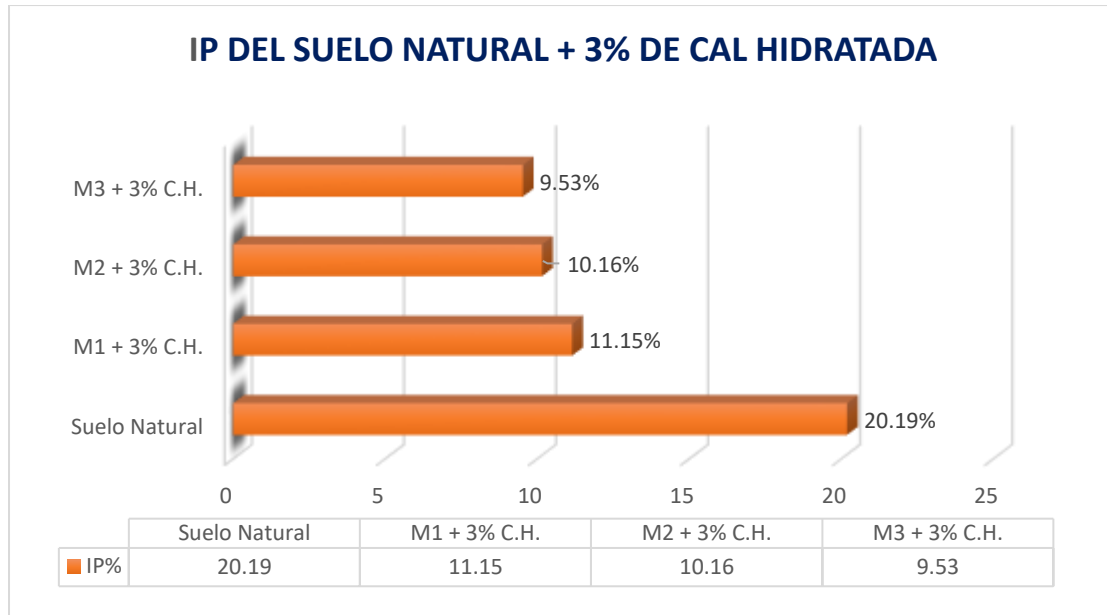
| Índice de Plasticidad – SN + 3% Cal hidratada | | |
|---|--------|--------------|
| Combinación | IP (%) | Promedio (%) |
| SN | 20.19 | - |
| M1 + 3% C.H | 11.15 | |
| M2 + 3% C.H | 10.16 | 10.28 |
| M3 + 3% C.H | 9.53 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla exhibe el IP, de la muestra con empleo de un 3% de cal hidratada, dando como resultado un valor medio de 10,28%.

Figura 15

Índice de plasticidad del SN con empleo de 3% de cal hidratada.



El diagrama ilustra del (IP) de la subrasante del suelo natural cuando se agrega cal hidratada. Es evidente que el índice plástico disminuye cuando se incorpora un 3% de cal hidratada.

- CAL HIDRATADA 5%

Tabla 14

Índice plasticidad al combinar SN + 5% Cal hidratada

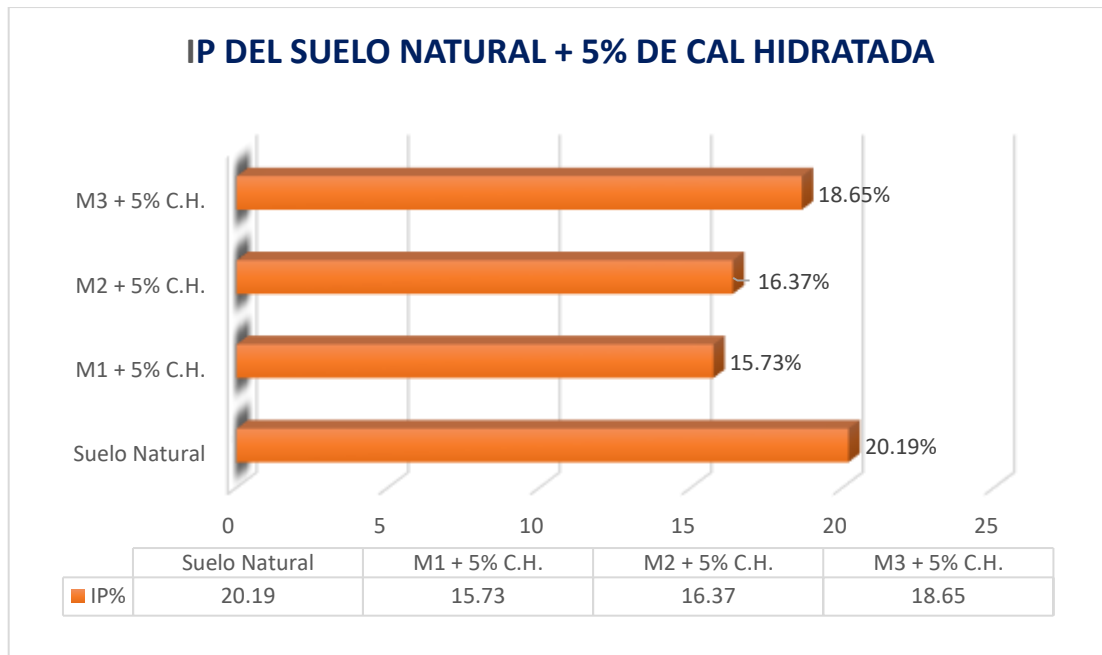
| Índice de Plasticidad – SN + 5% Cal hidratada | | |
|---|--------|--------------|
| Combinación | IP (%) | Promedio (%) |
| SN | 20.19 | - |
| M1 + 3% C.H | 15.73 | |
| M2 + 3% C.H | 16.37 | 16.92 |
| M3 + 3% C.H | 18.65 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla ilustra el (IP) de la subrasante del SN cuando se agrega cal hidratada. Es evidente que el índice plástico disminuye cuando se incorpora un 5% de cal hidratada.

Figura 16

IP del SN con empleo de 5% de cal hidratada.



El diagrama ilustra (IP) de subrasante y es evidente que el índice plástico disminuye cuando se incorpora un 5% de cal hidratada.

4.1.3 Influencia de cal viva e hidratada en el grado de compactación.

a) Cal viva

- Cal viva al 2%

Tabla 15

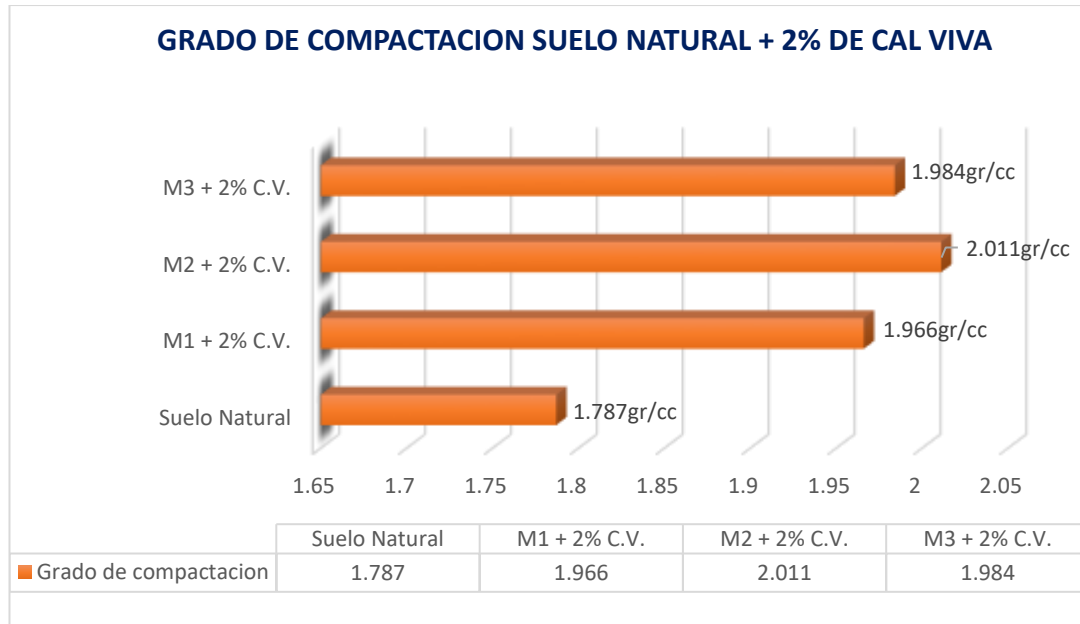
Grado de compactación del SN + 2% de cal viva.

| Grado de Compactación – SN + 2% Cal viva | | |
|---|--------------------|-------------------------|
| Combinación | MDS (gr/cc) | Promedio (gr/cc) |
| SN | 1.787 | - |
| M1 + 2% C.V. | 1.966 | |
| M2 + 2% C.V. | 2.011 | 1.987 |
| M3 + 2% C.V. | 1.984 | |

La tabla ilustra la GC, de la muestra que contiene un 2% de cal viva, con una densidad media de 1.987 gramos por centímetro cúbico.

Figura 17

Grados de compactación del SN con adición de 2% de cal viva



El gráfico ilustra el análisis (GC) del SN de la subrasante, junto con la inclusión de cal viva. La presencia de cal viva indica un mayor nivel de compactación cuando se aplica un 2% de cal viva.

- Cal viva al 4%

Tabla 16

Grado de compactación del SN con empleo de 4% de cal viva.

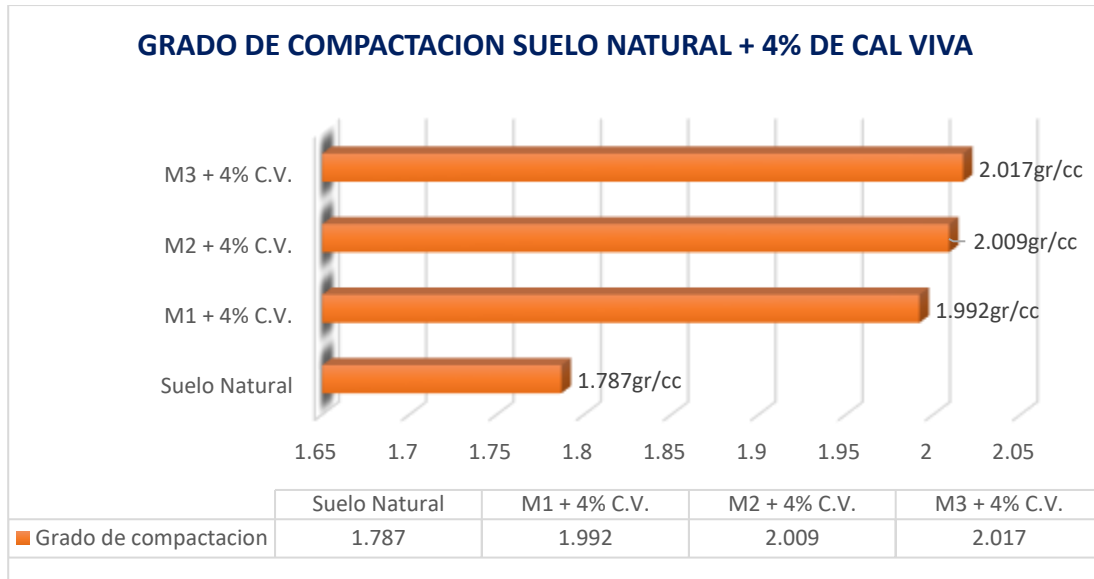
| Grado de Compactación – SN + 4% Cal viva | | |
|---|--------------------|-------------------------|
| Muestra | MDS (gr/cc) | Promedio (gr/cc) |
| SN | 1.787 | - |
| C1 + 4% C.V. | 1.992 | |
| C2 + 4% C.V. | 2.009 | 2.006 |
| C3 + 4% C.V. | 2.017 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla exhibe la GC, de la muestra combinada con un 4% de cal viva, lo que da como resultado una densidad promedio de 2,006 gramos por centímetro cúbico.

Figura 18

Grados de compactación del SN + 4% de cal viva



La figura ilustra el análisis (GC) del suelo original de la subrasante, junto con la inclusión cal viva. La presencia cal viva indica una mejora en el nivel de compactación cuando se aplica un 4% de cal viva.

- Cal viva al 6%

Tabla 17

Grado de compactación del SN con adición de 6% de cal viva.

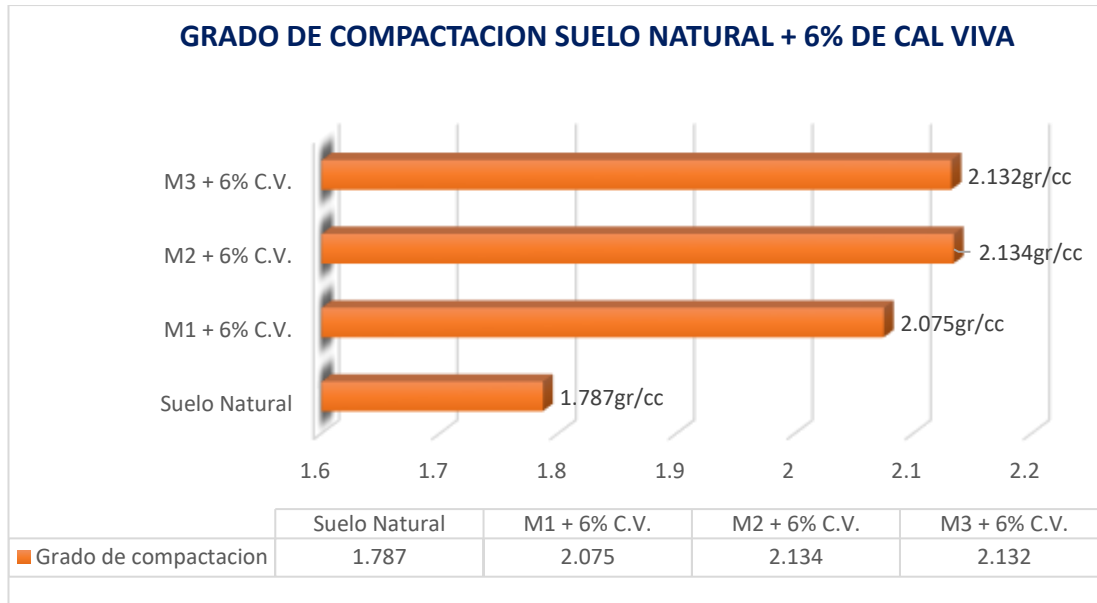
| Grado de Compactación – SN + 6% Cal viva | | |
|---|-------------|------------------|
| Combinación | MDS (gr/cc) | Promedio (gr/cc) |
| SN | 1.787 | - |
| M1 + 6% C.V. | 2.075 | |
| M2 + 6% C.V. | 2.134 | 2.114 |
| M3 + 6% C.V. | 2.132 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

En la tabla exhibe el GC, del espécimen combinado con un 6% de cal viva, arrojando una densidad media de 2.114 gr/cc.

Figura 19

Grados de compactación del SN con adición de 6% de cal viva



El gráfico ilustra el análisis (GC) del suelo original de la subrasante, así como del suelo con la adición de cal viva. La presencia de cal viva indica una mejora en el nivel de compactación, concretamente cuando se aplica un 6% de cal viva.

b) Cal hidratada

- Cal hidratada al 1%

Tabla 18

Grado de compactación del SN con adición de 1% de cal hidratada.

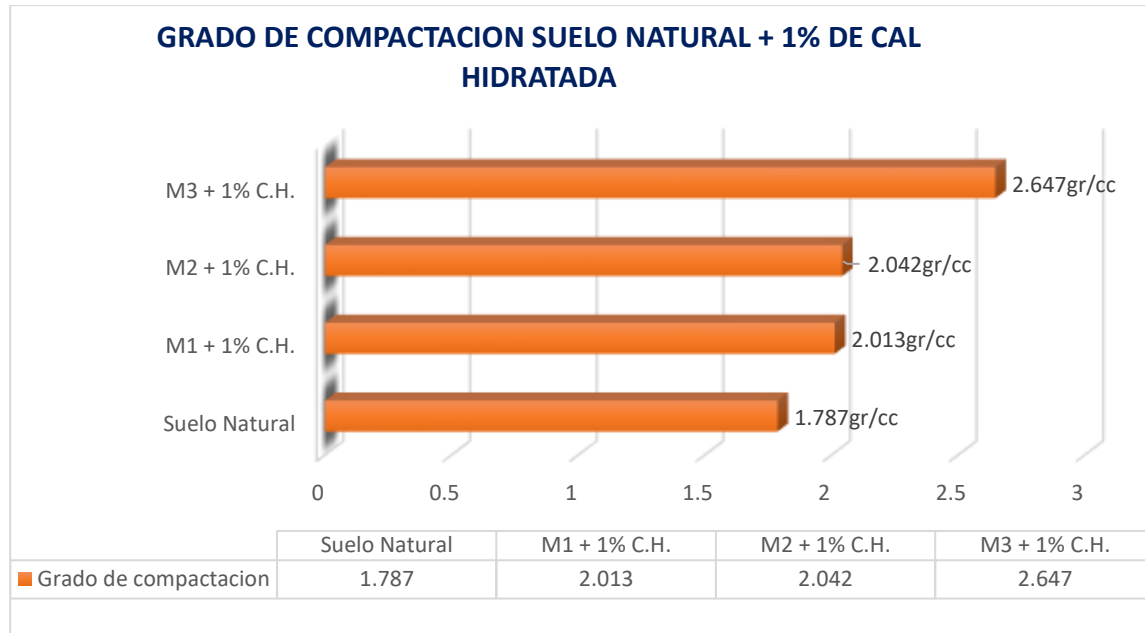
| Grado de Compactación – SN + 1% Cal hidratada | | |
|--|-------------|------------------|
| Muestra | MDS (gr/cc) | Promedio (gr/cc) |
| SN | 1.787 | - |
| M1 + 1% C.H. | 2.013 | |
| M2 + 1% C.H. | 2.042 | 2.234 |
| M3 + 1% C.H. | 2.647 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla muestra la GC, de la muestra con una adición de cal hidratada al 1%, presentando una densidad promedio de 2.234 gr/cc.

Figura 20

Grados de compactación del SN con adición de 1% de cal hidratada



El gráfico ilustra el análisis de (GC) del suelo original de la subrasante, junto con la inclusión de cal hidratada. Los resultados indican un mayor nivel de compactación cuando se aplica un 1% de cal hidratada.

- Cal hidratada al 3%

Tabla 19

Grado de compactación del SN con empleo de 3% de cal hidratada.

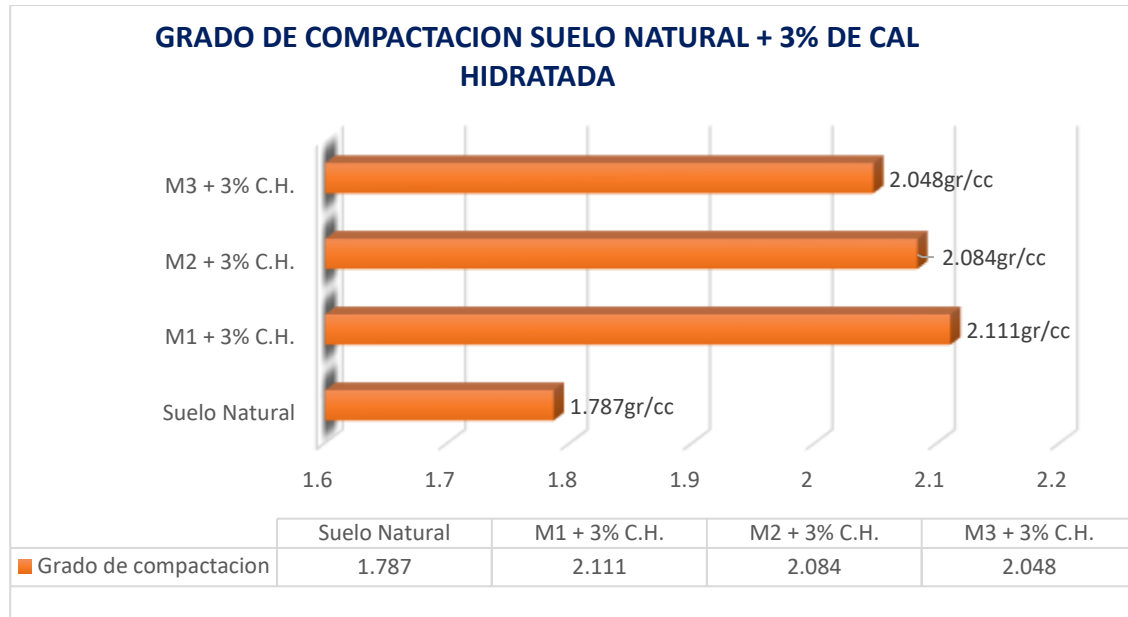
| Grado de Compactación – SN + 3% Cal hidratada | | |
|--|-------------|------------------|
| Muestra | MDS (gr/cc) | Promedio (gr/cc) |
| SN | 1.787 | - |
| M1 + 3% C.H. | 2.111 | |
| M2 + 3% C.H. | 2.084 | 2.081 |
| M3 + 3% C.H. | 2.048 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla muestra la GC, la muestra con un contenido de cal hidratada +3%, con una densidad media de 2.081 gr/cc.

Figura 21

Grados de compactación del SN con empleo de 3% de cal hidratada



El gráfico ilustra el análisis por (GC) del suelo original de la subrasante, junto con la inclusión de cal hidratada. La presencia de cal hidratada indica un mayor nivel de compactación logrado con la aplicación de cal hidratada al 3%.

- Cal hidratada al 5%

Tabla 20

Grado de compactación del SN con adición de 5% cal hidratada.

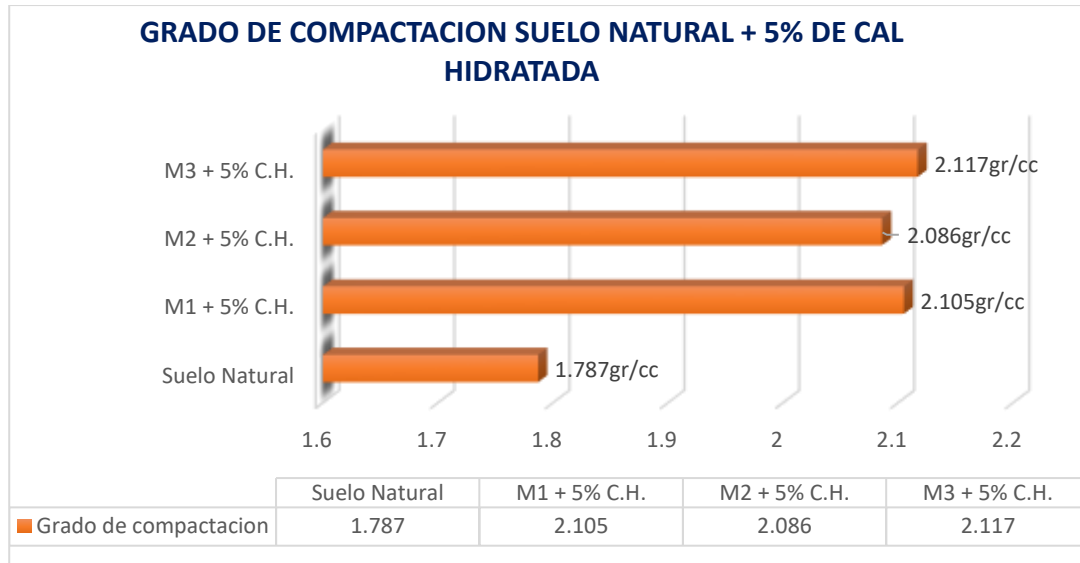
| Grado de Compactación – SN + 5% Cal hidratada | | |
|--|--------------------|-------------------------|
| Muestra | MDS (gr/cc) | Promedio (gr/cc) |
| SN | 1.787 | - |
| M1 + 5% C.H. | 2.105 | |
| M2 + 5% C.H. | 2.086 | 2.103 |
| M3 + 5% C.H. | 2.117 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla ilustra el GC de la muestra que contiene una concentración del 5% de cal hidratada, con una compactación promedio de 2,103grcc.

Figura 22

Grados de compactación del SN con adición de 5% de cal hidratada



El gráfico ilustra el análisis por (GC) indicando que la presencia de cal hidratada indica una mejora en el nivel de compactación cuando se aplica un 5% de cal hidratada.

4.1.4 Aplicación de cal viva y cal hidratada y su efecto en el CBR de subrasante.

a) Cal viva

- Cal viva 2%

Tabla 21

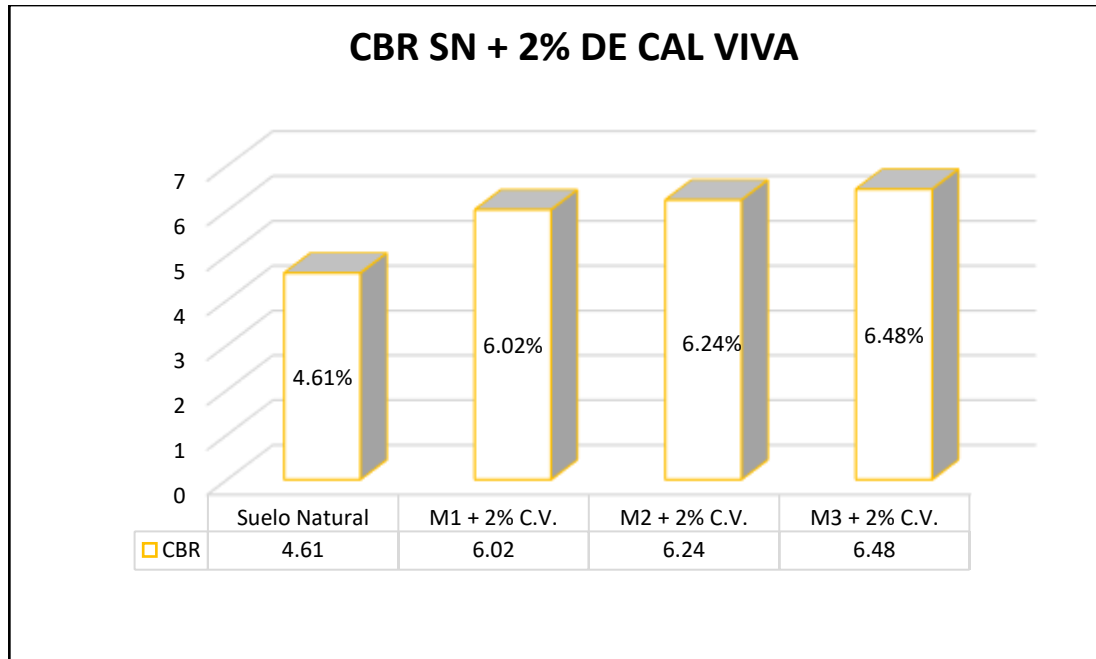
CBR del SN con empleo de 2% cal viva.

| CBR al 95% MDS – SN + 2% Cal viva | | |
|-----------------------------------|---------|--------------|
| Combinación | CBR (%) | Promedio (%) |
| SN | 4.61 | - |
| M1 + 2% C.V. | 6.02 | |
| M2 + 2% C.V. | 6.24 | 6.25 |
| M3 + 2% C.V. | 6.48 | |

En la tabla se exhibe el índice de carga de California (CBR) de la muestra después de agregar un 2 % de cal viva. Entre el 95% y la densidad seca máxima (MDS), el CBR típico es del 6,25%.

Figura 23

CBR del SN con adición de 2% de cal viva.



La figura ilustra el índice de carga de California (CBR) de la subrasante del suelo natural cuando se agrega cal viva. Indica que la capacidad de soporte aumenta cuando se aplica un 2% de cal viva.

- Cal viva 4%

Tabla 22

CBR del SN con empleo de 4% de cal viva.

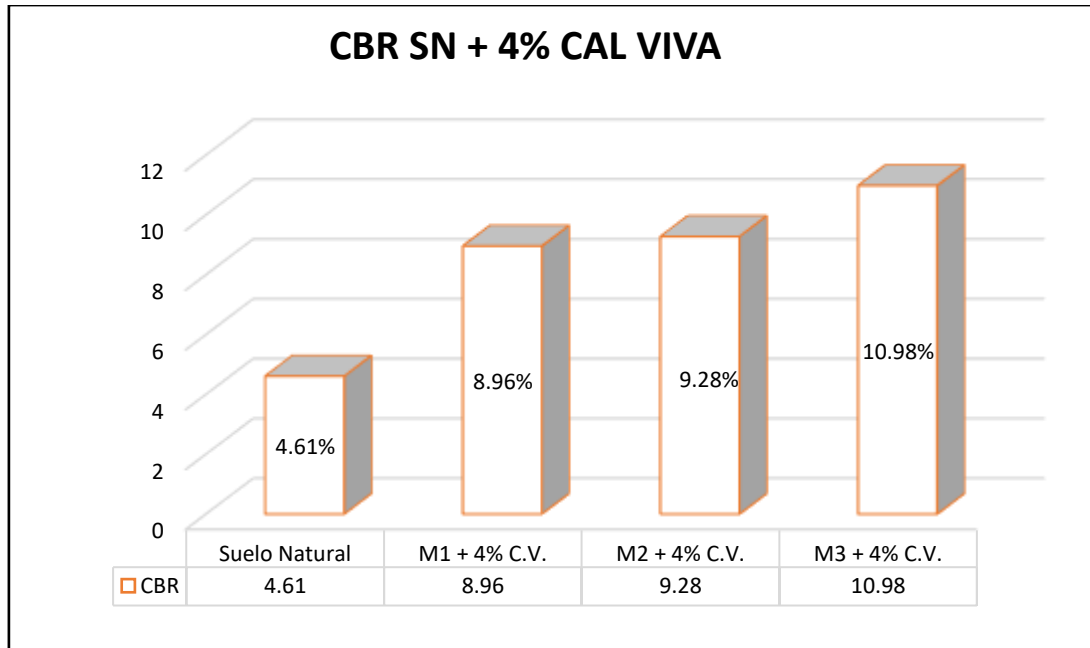
| CBR 95% – SN + 4% Cal viva | | |
|----------------------------|---------|--------------|
| Muestra | CBR (%) | Promedio (%) |
| SN | 4.61 | - |
| M1 + 4% C.V. | 8.96 | |
| M2 + 4% C.V. | 9.28 | 9.74 |
| M3 + 4% C.V. | 10.98 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla muestra el índice de carga de California (CBR) de la muestra que contiene 4 % de cal viva, lo que indica un CBR promedio de 9,74 % al 95 % de la (MDS).

Figura 24

CBR del SN con empleo de 4% de cal viva.



La figura ilustra la carga de California (CBR) de la subrasante del suelo natural cuando se agrega cal viva. Indica que el CBR aumenta cuando se aplica un 4% de cal viva.

- Cal viva 6%

Tabla 23

CBR del SN con empleo de 6% de cal viva.

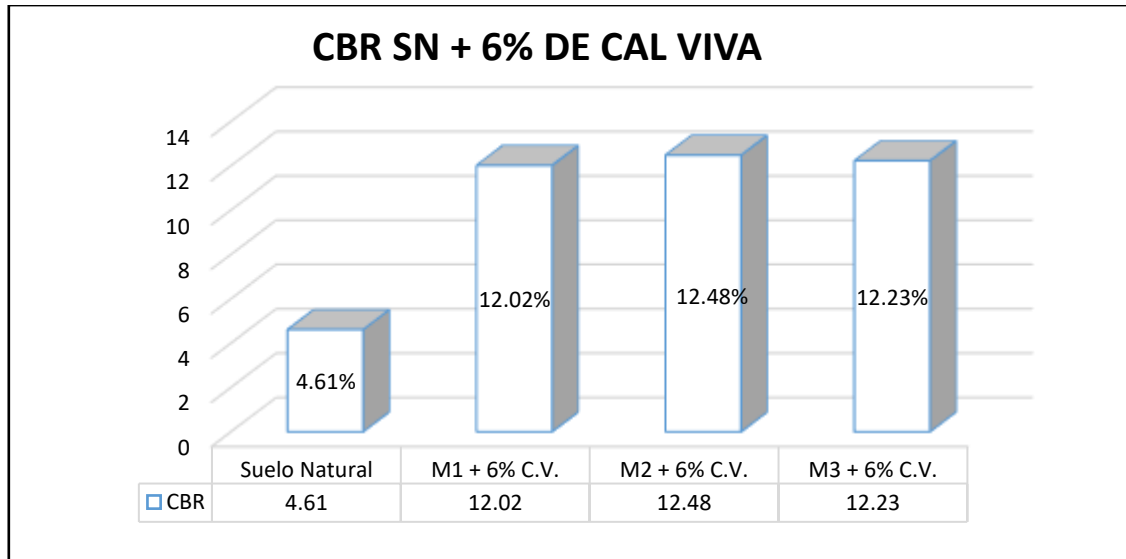
| CBR 95% MDS – SN + 6% Cal viva | | |
|--------------------------------|---------|--------------|
| Combinación | CBR (%) | Promedio (%) |
| SN | 4.61 | - |
| M1 + 6% C.V. | 12.02 | |
| M2 + 6% C.V. | 12.48 | 12.24 |
| M3 + 6% C.V. | 12.23 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla muestra el índice de resistencia de California (CBR) de la muestra que contiene 6 % de cal viva, lo que indica un valor de CBR promedio de 12,24 % al 95% (MDS).

Figura 25

CBR del SN con empleo de 6% de cal viva.



La figura ilustra la carga de California (CBR) de la subrasante del suelo natural cuando se agrega cal viva. Indica que la capacidad de soporte aumenta cuando se aplica un 6% de cal viva.

b) Cal viva

- Cal hidratada 1%

Tabla 24

CBR del SN con adición de 1% de cal hidratada.

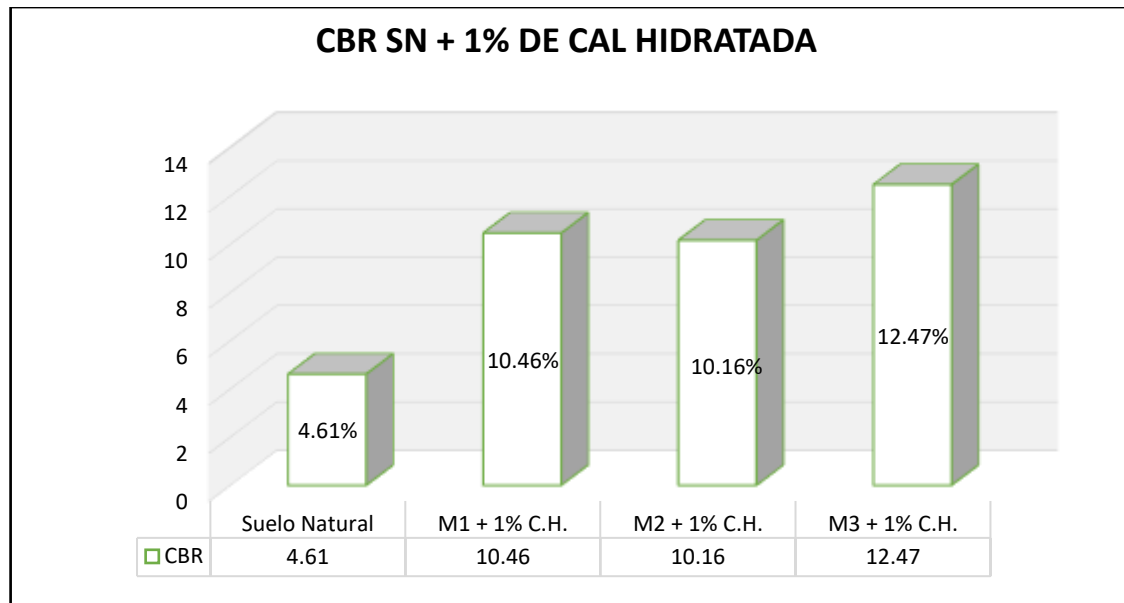
| CBR al 95% MDS – SN + 1% Cal hidratada | | |
|--|---------|--------------|
| Combinación | CBR (%) | Promedio (%) |
| SN | 4.61 | - |
| M1 + 1% C.H. | 10.46 | |
| M2 + 1% C.H. | 10.16 | 11.03 |
| M3 + 1% C.H. | 12.47 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

La tabla ilustra el índice de resistencia de California (CBR) de la muestra mezclada con 1% de cal viva. El CBR promedio es de 11,03% al 95% de la MDS.

Figura 26

CBR del SN con adición de 1% de cal hidratada.



La figura ilustra la relación de carga de California (CBR) del suelo nativo de la subrasante cuando se agrega cal hidratada. La adición de 1% de cal hidratada da como resultado una capacidad de soporte mejorada, como lo indica el aumento de CBR.

- Cal hidratada 3%

Tabla 25

CBR del SN con adición de 3% de cal hidratada.

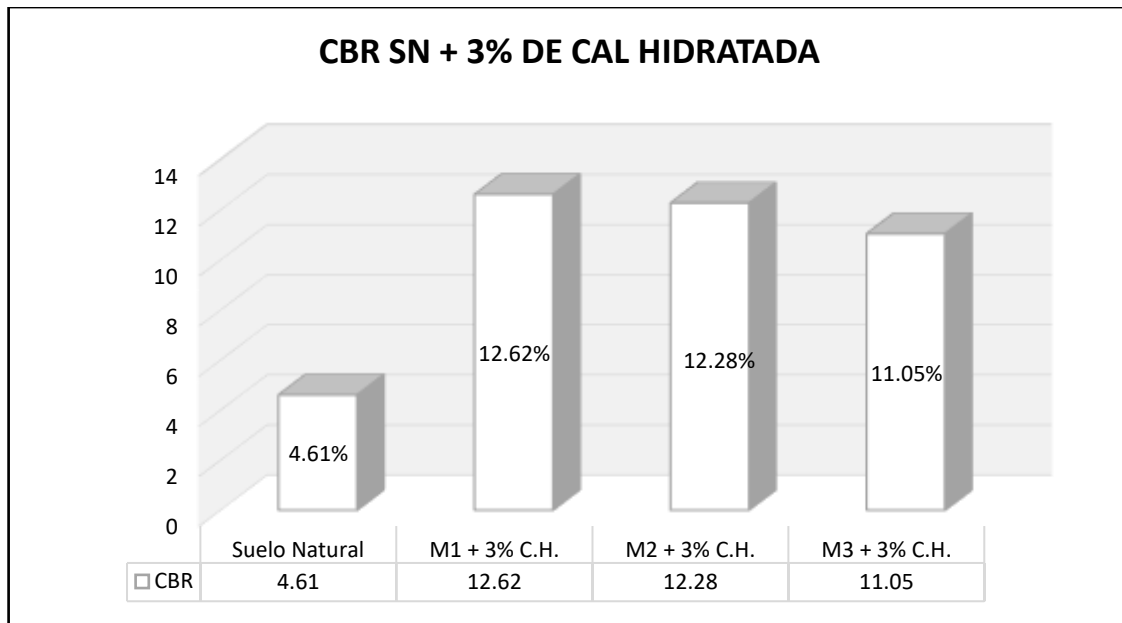
| CBR al 95% MDS – SN + 3% Cal hidratada | | |
|--|---------|--------------|
| Combinación | CBR (%) | Promedio (%) |
| SN | 4.61 | - |
| M1 + 3% C.H. | 12.62 | |
| M2 + 3% C.H. | 12.28 | 12.12 |
| M3 + 3% C.H. | 11.05 | |

Nota. Análisis en laboratorio

La tabla exhibe el (CBR) de la muestra mezclada con 3% cal viva, lo que produce un CBR, con una media de 12,12 % al 95 % de densidad seca máxima (MDS).

Figura 27

CBR del SN con empleo de 3% cal hidratada.



La figura ilustra la carga de California (CBR) del suelo natural de la subrasante cuando se agrega cal hidratada. Indica que la capacidad de soporte aumenta cuando se aplica un 3% de cal hidratada.

- Cal hidratada 5%

Tabla 26

CBR del SN con empleo de 5% cal hidratada.

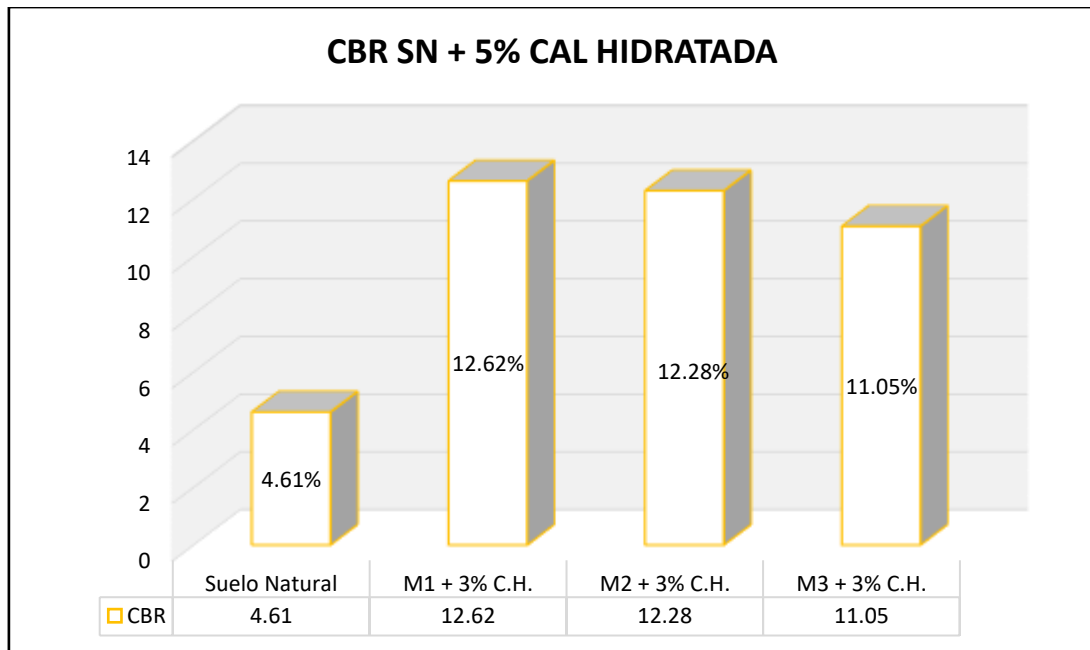
| Combinación | CBR (%) | Promedio (%) |
|--------------|---------|--------------|
| SN | 4.61 | - |
| M1 + 5% C.H. | 11.51 | |
| M2 + 5% C.H. | 10.02 | 10.83 |
| M3 + 5% C.H. | 10.96 | |

Nota. Análisis en el laboratorio

El CBR de la muestra que contiene 5% de cal viva se muestra en la tabla, con un CBR promedio de 10,83% determinado por el 95% de la MDS.

Figura 28

CBR del SN con empleo al 5% de cal hidratada.



El diagrama ilustra la relación del (CBR) de la subrasante original y el suelo de subrasante tratado con cal hidratada. Indica que la adición de un 5% de cal hidratada da como resultado una mayor capacidad de carga.

4.1.5 Comparativa de resultados:

CAL VIVA:

Tabla 27

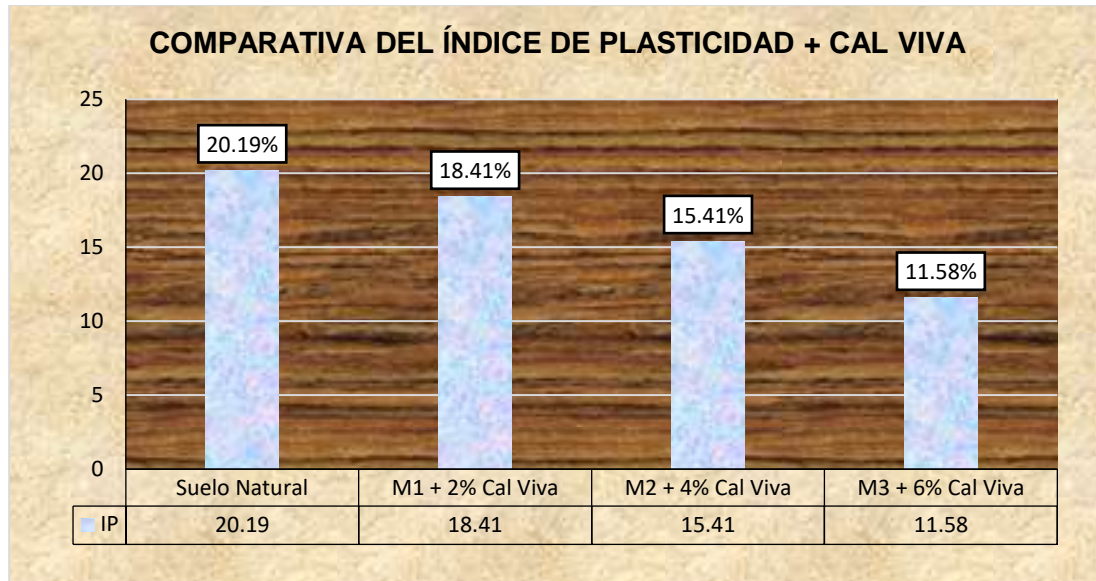
Comparativa del IP con adición de cal viva.

| Índice de Plasticidad – SN + Cal Viva | |
|---------------------------------------|--------|
| Combinación | IP (%) |
| Suelo Natural | 20.19 |
| M1 + 2% Cal Viva | 18.41 |
| M2 + 4% Cal Viva | 15.41 |
| M3 + 6% Cal Viva | 11.58 |

La tabla 27 muestra la reducción del Índice de Plasticidad (IP) del suelo natural (20.19%) al añadir cal viva. Con 2% de cal viva, el IP baja a 18.41%, con 4% disminuye a 15.41%, y con 6% se reduce significativamente a 11.58%.

Figura 29

Comparativa del IP con empleo de Cal Viva.



La figura 29 ilustra la reducción del Índice de Plasticidad (IP) del suelo natural (20.19%) con la adición de cal viva. Con un 2% de cal viva, el IP disminuye a 18.41%, con un 4% baja a 15.41%, y con un 6% se reduce significativamente a 11.58%

Tabla 28

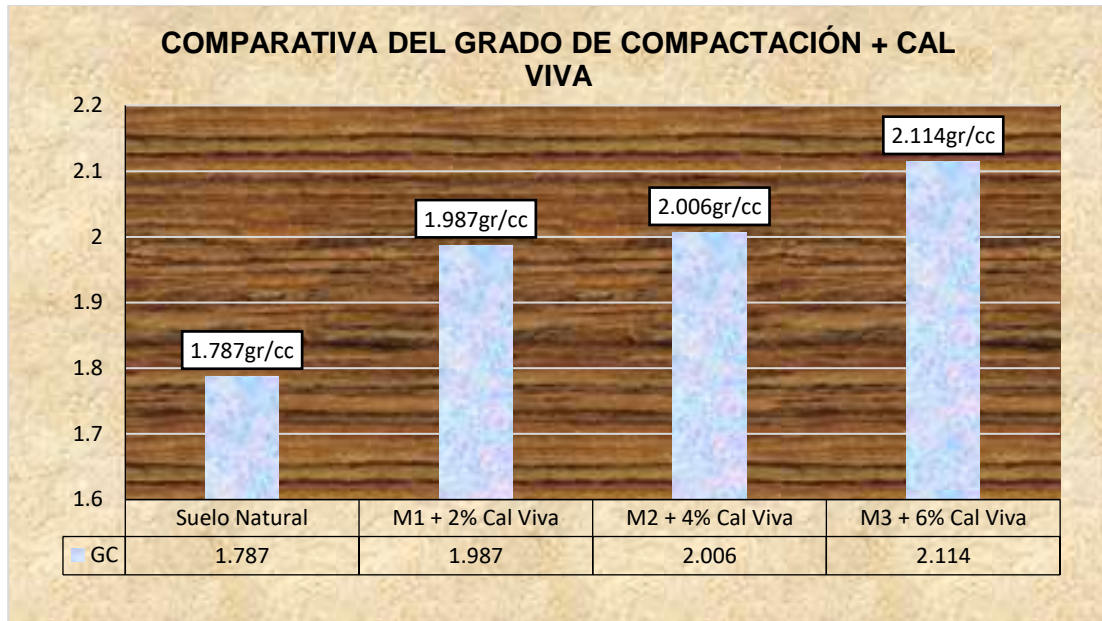
Comparativa del MDS con empleo de cal viva.

| Grado de Compactación – SN + Cal Viva | |
|---------------------------------------|-------------|
| Muestra | MDS (gr/cc) |
| Suelo Natural | 1.787 |
| M1 + 2% Cal Viva | 1.987 |
| M2 + 4% Cal Viva | 2.006 |
| M3 + 6% Cal Viva | 2.114 |

La tabla 28 muestra la comparación del Máximo Densidad Seca (MDS) del suelo natural y sus combinaciones con cal viva. El suelo natural tiene un MDS de 1.787 gr/cc. Al añadir un 2% de cal viva (M1), el MDS aumenta a 1.987 gr/cc. Con una adición del 4% de cal viva (M2), el MDS se incrementa a 2.006 gr/cc. Finalmente, con un 6% de cal viva (M3), el MDS alcanza 2.114 gr/cc. Esto indica que la adición de cal viva aumenta la densidad.

Figura 30

Comparativa del grado de compactación con empleo de Cal Viva.



La figura 30 ilustra la comparación del Máximo Densidad Seca (MDS) del suelo natural y sus combinaciones con cal viva. El MDS del suelo natural es de 1.787 gr/cc. Con la adición de un 2% de cal viva, el MDS aumenta a 1.987 gr/cc; con un 4%, sube a 2.006 gr/cc; y con un 6%, alcanza 2.114 gr/cc, mostrando un incremento en la densidad del suelo con mayores proporciones de cal viva.

Tabla 29

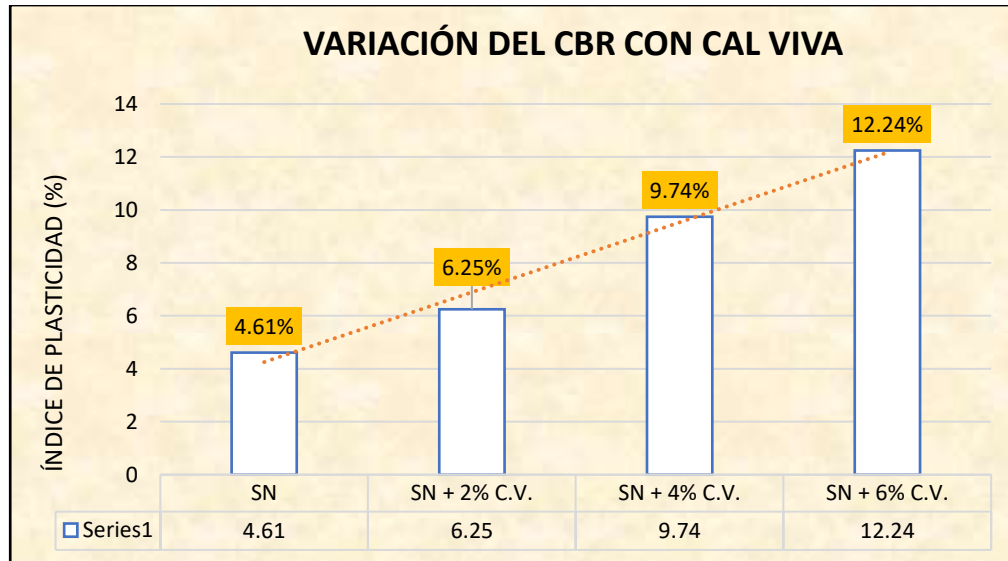
Comparativa del CBR con adición de cal viva.

| Muestra | CBR | |
|------------------|-----|---------|
| | CBR | CBR 95% |
| Suelo Natural | | 4.61 |
| M1 + 2% Cal Viva | | 6.25 |
| M2 + 4% Cal Viva | | 9.74 |
| M3 + 6% Cal Viva | | 12.24 |

La tabla, presenta el CBR de las muestras con cal viva en proporciones variables, teniéndose un aumento con relación al SN.

Figura 31

Comparativa del CBR del SN con adición de cal viva en proporciones variables.



La figura exhibe el CBR del SN de la subrasante con empleo de cal viva. Se observa que la mezcla de SN con un 6% de cal viva presenta el mayor incremento del CBR, alcanzando un 12.24% al 95% de la MDS.

CAL HIDRATADA:

Tabla 30

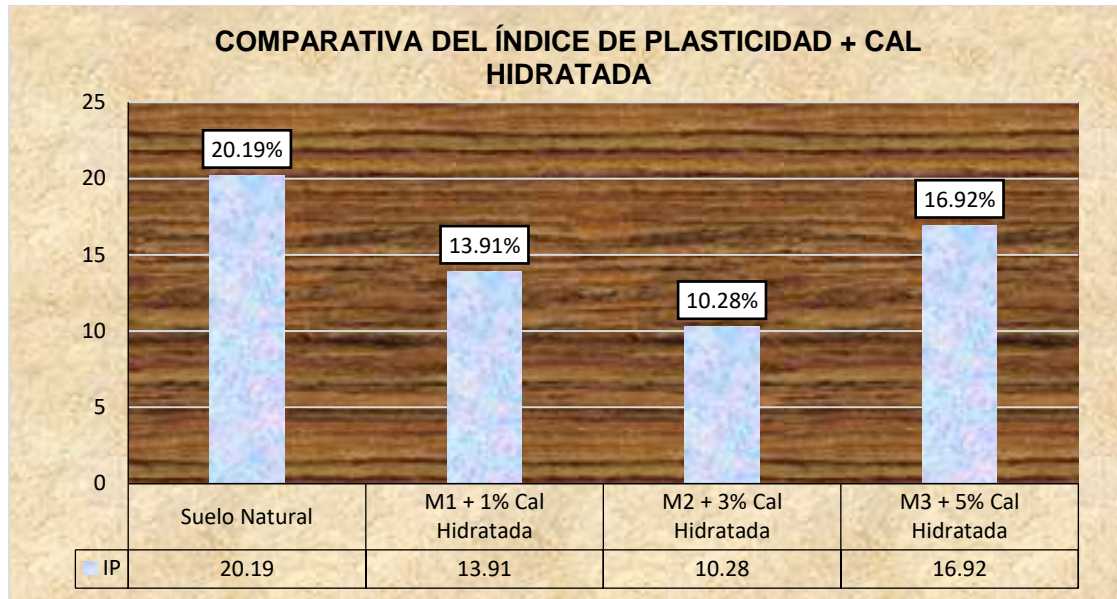
Comparativa del IP con adición de cal hidratada.

| Índice de Plasticidad – SN + Cal Hidratada | |
|--|--------|
| Combinación | IP (%) |
| Suelo Natural | 20.19 |
| M1 + 1% Cal Hidratada | 13.91 |
| M2 + 3% Cal Hidratada | 10.28 |
| M3 + 5% Cal Hidratada | 16.92 |

Se muestra la comparación del IP del suelo natural y sus combinaciones con cal hidratada. El suelo natural tiene un IP del 20.19%. Al añadir un 1% de cal hidratada (M1), el IP disminuye a 13.91%. Con una adición del 3% de cal hidratada (M2), el IP se reduce a 10.28%. Sin embargo, con un 5% de cal hidratada (M3), el IP aumenta a 16.92%, mostrando que la cal hidratada puede tener efectos variables según la cantidad utilizada.

Figura 32

Comparativa del IP con empleo de Cal Hidratada.



Se muestra la comparación del IP del suelo natural y sus combinaciones con cal hidratada. El suelo natural tiene un IP del 20.19%. Con un 1% de cal hidratada, el IP disminuye a 13.91%. Con un 3%, el IP baja a 10.28%, pero con un 5%, el IP aumenta a 16.92%, indicando efectos variables en el IP según la cantidad de cal hidratada añadida.

Tabla 31

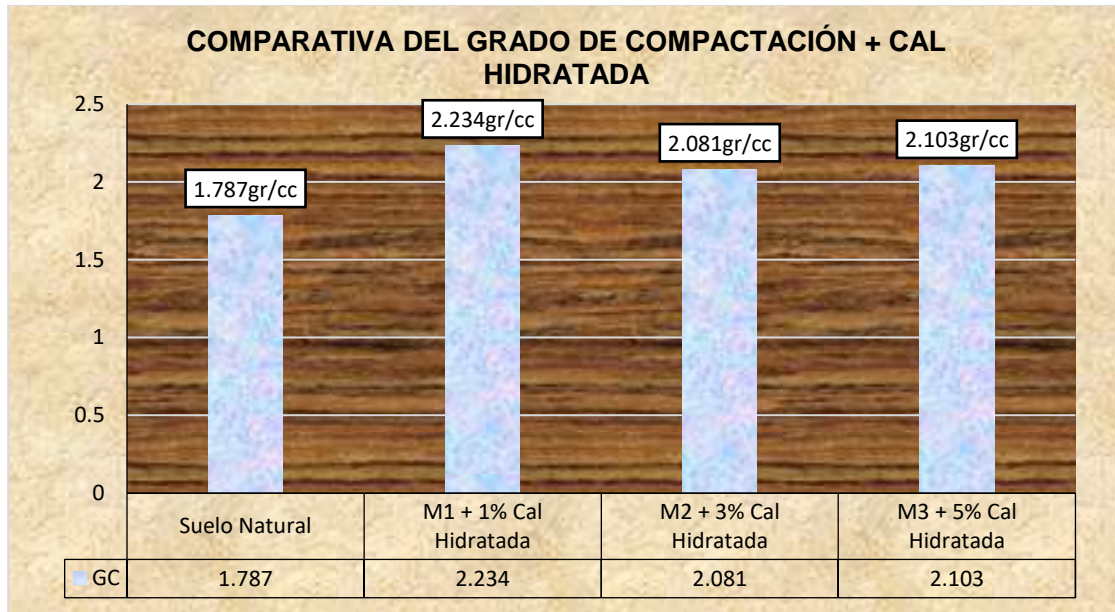
Comparativa del MDS con empleo de Cal Hidratada.

| Grado de Compactación – SN + Cal Hidratada | |
|--|-------------|
| Muestra | MDS (gr/cc) |
| Suelo Natural | 1.787 |
| M1 + 1% Cal Hidratada | 2.234 |
| M2 + 3% Cal Hidratada | 2.081 |
| M3 + 5% Cal Hidratada | 2.103 |

Se presenta la comparación de la MDS, el suelo natural tiene un MDS de 1.787 gr/cc. Con la adición de un 1% de CH, el MDS aumenta a 2.234 gr/cc. Con un 3% de CH, el MDS se reduce ligeramente a 2.081 gr/cc. Con un 5% de CH, el MDS vuelve a aumentar a 2.103 gr/cc, mostrando cómo la cal hidratada puede afectar la densidad del suelo.

Figura 33

Comparativa del grado de compactación con empleo de Cal Hidratada.



La figura 33 muestra la comparación del Máximo Densidad Seca (MDS) del SN y sus combinaciones con cal hidratada. El suelo natural tiene un MDS de 1.787 gr/cc. Con la adición de un 1% de cal hidratada, el MDS aumenta a 2.234 gr/cc. Con un 3% de cal hidratada, el MDS se reduce a 2.081 gr/cc. Con un 5% de cal hidratada, el MDS vuelve a aumentar a 2.103 gr/cc, indicando variaciones en la densidad del suelo según la cantidad de cal hidratada añadida

Tabla 32

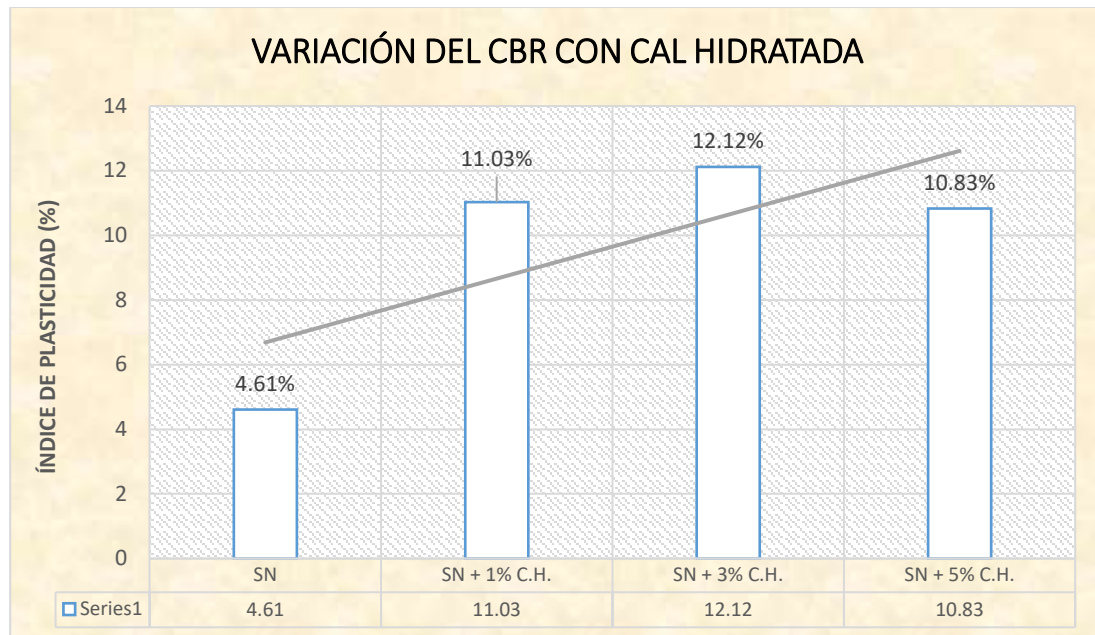
Comparativa del CBR con adición de cal hidratada.

| Muestra | Variación CBR | |
|--------------|---------------|---------------|
| | CBR 95%MDS | Variación (%) |
| SN | 4.61 | - |
| SN + 1% C.H. | 11.03 | + 139% |
| SN + 3% C.H. | 12.12 | - 41 |
| SN + 5% C.H. | 10.83 | - 53 |

La tabla, presenta el CBR de las muestras con cal hidratada en proporciones variables, teniéndose un aumento con respecto al SN.

Figura 34

Comparativa del CBR del SN con empleo de cal hidratada en proporciones variables.



La imagen muestra el CBR del suelo natural de la subrasante luego del empleo de cal hidratada. La mezcla se compone de SN (notación específica) y un 3% de cal viva. La figura muestra incremento considerablemente en CBR del 12,12% al 95% de la MDS

DESCRIPCIÓN

Índice de Plasticidad (IP %):

- El suelo natural (SN) presenta un IP del 20.19%.
- Con la adición de 2% de cal viva, el IP se reduce a 18.41%.
- Con 4% de cal viva, el IP disminuye a 15.41%.
- Con 6% de cal viva, el IP baja significativamente a 11.58%.
- Para la cal hidratada, el IP se reduce a 13.91% con 1% de cal.
- Con 3% de cal hidratada, el IP desciende a 10.28%.
- Sin embargo, con 5% de cal hidratada, el IP sube ligeramente a 16.92%.

Máxima Densidad Seca (MDS en gr/cc):



- El suelo natural (SN) tiene una MDS de 1.787 gr/cc.
- Con la adición de 2% de cal viva, la MDS aumenta a 1.987 gr/cc.
- Con 4% de cal viva, la MDS se incrementa a 2.005 gr/cc.
- Con 6% de cal viva, la MDS alcanza 2.114 gr/cc.
- La cal hidratada también mejora la MDS: con 1% de cal, sube a 1.99 gr/cc.
- Con 3% de cal hidratada, la MDS aumenta a 2.081 gr/cc.
- Con 5% de cal hidratada, la MDS se incrementa a 2.103 gr/cc.

Capacidad de Soporte CBR (%):

- El suelo natural (SN) presenta un CBR del 4.61%.
- Con la adición de 2% de cal viva, el CBR aumenta a 6.25%.
- Con 4% de cal viva, el CBR sube a 9.74%.
- Con 6% de cal viva, el CBR alcanza 12.24%, mostrando una mejora significativa.
- La cal hidratada también mejora el CBR: con 1% de cal, el CBR sube a 8.15%.
- Con 3% de cal hidratada, el CBR aumenta a 12.12%.
- Con 5% de cal hidratada, el CBR alcanza 10.83%.

El gráfico ilustra que tanto la cal viva como la cal hidratada mejoran significativamente el IP, MDS y CBR del suelo. La cal viva al 6% y la cal hidratada al 3% son las proporciones óptimas que logran las mayores mejoras en estos parámetros.

4.2 Discusión de Resultados.

La investigación reveló los niveles medios de plasticidad observados en tres áreas de estudio, con un promedio del 20.19%, determinado a través del análisis de las propiedades físicas y mecánicas del suelo debajo de la vía examinada. Se identificó una densidad seca máxima de 1.787 gr/cc, con un óptimo contenido de humedad del 21,26% y una capacidad de soporte media del CBR del 4,61% al 95% del MDS. Estos factores



fueron tenidos en cuenta. En comparación con el CBR del suelo natural, que promedia el 9,1%, el índice plástico del suelo es del 17,56%, según Calderón (2022).

La introducción de cal viva en porcentajes del 2%, 4% y 8% disminuyó el IP del suelo bajo la carretera a 18.41%, 15.41% y 11.58%, respectivamente. Estos resultados indican una mejora considerable en las propiedades del suelo, reduciendo su plasticidad y aumentando su estabilidad.

Calderón (2022) también investigó el efecto de la cal viva en el suelo, encontrando que el índice de plasticidad del suelo natural combinado con un 5% de cal viva era del 16.25%. Esto sugiere que la adición de cal viva puede ser una estrategia efectiva para mejorar las características del suelo. Durante el análisis de los efectos de la cal viva en porcentajes del 2%, 4% y 6%, se observaron densidades secas máximas de 1.987 gr/cc, 2.006 gr/cc y 2.114 gr/cc, respectivamente, mejorando así la compactación del suelo bajo la carretera. Comparativamente, Calderón (2022) logró una densidad seca máxima de 2.168 gr/cc en su estudio, lo que representa un incremento significativo respecto a la densidad del suelo natural.

Estos resultados subrayan la eficacia de la cal viva para mejorar las propiedades del suelo, tanto en términos de reducción del índice de plasticidad como en el aumento de la densidad seca máxima, lo que contribuye a una mayor capacidad de soporte y estabilidad del suelo subyacente en infraestructuras viales. Este estudio documentó capacidades de soporte del CBR del 6.25%, 9.74% y 12.24% al 95% del MDS, respectivamente, con la influencia de la cal viva en porcentajes del 2%, 4% y 16% sobre la capacidad de soporte del suelo bajo la carretera. Esto demuestra una mejora en la capacidad de soporte del suelo con el aumento del porcentaje de cal viva, siendo más notorio a concentraciones más altas.



Por otro lado, Calderón (2022) encontró un CBR del 10.65% al 95% del MDS con una adición del 5% de cal viva, siendo este el resultado más óptimo en su investigación. Esto indica que una adición del 5% de cal viva proporciona una mejora significativa en la capacidad de soporte del suelo, haciendo que este método sea eficiente y efectivo para mejorar las condiciones del suelo subyacente. La comparación entre ambos estudios sugiere que la efectividad de la adición de cal viva puede variar según las condiciones específicas del suelo y las concentraciones utilizadas. La investigación de Calderón resalta la importancia de ajustar las proporciones de cal viva para obtener resultados óptimos según el contexto específico del proyecto vial.



CONCLUSIONES

- C.1. El suelo presenta un índice de plasticidad del 20.19%, lo que indica la presencia de arcillas. La densidad seca máxima (MDS) promedio es de 1.787 g/cc y la humedad es 8.03%, lo cual sugiere un bajo grado de compactación. Además, el (CBR) es del 4.61% al 95% de la MDS.
- C.2. El uso de cal viva en porcentajes del 2%, 4% y 6% ha sido efectivo, reduciendo el índice de plasticidad de 20.19% a 11.58%, con el 6% siendo el porcentaje óptimo. De igual manera, la cal hidratada en proporciones del 1%, 3% y 5% también mostró resultados positivos, disminuyendo el índice de plasticidad de 20.19% a 10.28%, con el 3% como porcentaje óptimo.
- C.3. El uso de cal viva en porcentajes del 2%, 4% y 6% ha tenido un efecto positivo en el grado de compactación, aumentando la MDS de 1.787 g/cc a 2.114 g/cc, siendo el 6% el porcentaje óptimo. De manera similar, la aplicación de cal hidratada en proporciones del 1%, 3% y 5% también fue beneficiosa, incrementando la MDS de 1.787 g/cc a 2.234 g/cc, con el 1% como el porcentaje óptimo.
- C.4. El uso de cal viva en proporciones del 2%, 4% y 6% ha sido beneficioso en el CBR, incrementándola de 4.61% a 12.24% al 95% de la MDS, con el 6% siendo el porcentaje óptimo. De manera similar, la aplicación de cal hidratada en proporciones del 1%, 3% y 5% también mostró resultados positivos, aumentando el CBR de 4.61% a 12.12%, con el 3% como el porcentaje óptimo.



RECOMENDACIONES

- R.1. Se recomienda tratar la cal viva y la cal hidratada con un aditivo reutilizable. Esta mezcla, en porcentajes variables, puede dar mejores resultados en suelos con alto contenido en arcilla y ayudar también a reducir la contaminación ambiental.
- R.2. Se recomienda hacer CBR in situ para obtener un valor exacto sobre el terreno de la capacidad portante relativa, lo que ayudara una interpretación más precisa de la capacidad de soporte de la subrasante.
- R.3. Se recomienda realizar una investigación sobre las profundidades o espesores de tratamiento del suelo utilizando cal viva y cal hidratada, ya que esto impactaría significativamente el costo de futuras mejoras viales.
- R.4. Se recomienda utilizar una mezcla de cal viva al 6% ya que disminuye el índice de plasticidad en un 63%, mejora la compactación en un 7,32% y mejora enormemente la capacidad portante del CBR en un 2,30%.



REFERENCIAS

- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2019). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICO – MECÁNICAS COMO CAPA DE RODADURA EN LA PROLONGACIÓN NAVARRO CAUPER, DISTRITO SAN JUAN – MAYNAS – IQUITOS, 2019.* IQUITOS: Universidad Científica del Perú. Obtenido de <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1220>
- Arenas Prado, G. S., & Rosas Casa, L. (2019). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas de la subrasante incorporando cal hidratada, vía de acceso, distrito Santa Ana de Tusi, Pasco-2019.* Pasco: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58239>
- Balcells, J. (2018). *La investigación social: introducción a los métodos y técnicas.* Escuela Superior de Relaciones Públicas, PPU.
- Cabana Valverde, M. A. (2017). *Mejoramiento de la relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico CAL a la subrasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria - Wilcahuain, Huaraz, 2017.* Huaraz: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/13375>
- Calderon Lopez, N. A. (2022). *Efectos de la estabilización con cal viva y ceniza de cañihua en las propiedades de la subrasante, carretera Caracoto – Suches, Puno, 2022.* Caracoto Puno: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/101625>
- Carrasco, S. (2018). *Metodología de la investigación científica.* Lima: San Marcos.
- Gavilanes Bayas, E. G. (2015). *Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur.* Quito: Universidad Internacional del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2191>



- GUEVARA, G., VERDESOTO, A., & CASTRO, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 163-173. doi:10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173
- HERNANDEZ, A., RAMOS, M., PLACENCIA, B., INDACOCHEA, B., QUIMIS, A., & MORENO, L. (2018). *Metodología de la Investigación Científica*. Manabí: 3ciencias - Área de Innovación y Desarrollo S.L. doi:http://dx.doi.org/10.17993/CcyLI.2018.15
- Huancoillo Humpiri, Y. J. (2017). *Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané – Chupa – Puno*. Huancané Puno: Universidad Nacional del Altiplano Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6963>
- Jara Anyaypoma, R. (2014). *Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/686>
- Moreira Cedeño, F. L., & Guamán Iler, I. I. (2016). *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)*. Puyo, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24608>
- Parra-Gómez, M. G. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*. Colombia: Universidad católica de Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/22856>
- PINO, R. (2018). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Sánchez, M. J., Fernández, M., & Díaz, J. C. (2021). Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo. *Scielo, Uisrael*, 8(1), 113-128.



- Santander Zambrano, M. E., & Yávar Rodríguez, J. C. (2018). *Análisis Comparativo entre Método de Estabilización de Subrasante mediante el uso de Enzimas Orgánicas y Mezclas con Cal, en la Urbanización Tanya Marlene ubicada en la Ciudad de Milagro, Provincia del Guayas*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29312>
- Yuni, J., & Urbano, C. (2021). *Metodología y Técnicas para Investigar: Recursos para la elaboración de proyectos, análisis de datos y redacción científica* (2° ed., Vol. 1). Brujas. doi:ISBN: 979-8595351294



ANEXOS



| Problemas | Objetivos | Hipótesis | Variables | Inst. de Medición |
|--|--|---|--|---|
| <p>Problema General: ¿Cuál es el efecto de la cal viva y cal hidratada sobre las propiedades del suelo de subrasante de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?</p> | <p>Objetivo General: Analizar el efecto de la cal viva y cal hidratada sobre las propiedades del suelo de subrasante de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.</p> | <p>Hipótesis General: El efecto de la cal viva y cal hidratada sobre las propiedades del suelo de subrasante de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, será favorable.</p> | <p>Variable Independiente</p> <p>Cal viva y cal hidratada</p> <p>Dimensiones: <i>Adición de 2%, 4% y 6% de cal viva.</i></p> <p><i>Adición de 1%, 3% y 5% de cal hidratada</i></p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Subrasante</p> <p>Dimensiones: <i>Plasticidad Compactación CBR</i></p> | <p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p> <p>Equipos y herramienta de Laboratorio de Concretos.</p> |
| <p>Problemas Especificos</p> | <p>Objetivos Especificos</p> | <p>Hipótesis Específicas</p> | | |
| <p>¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?</p> <p>¿Cuál es el efecto de la incorporación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la adición de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la adición de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel?</p> | <p>Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.</p> <p>Determinar el efecto de la incorporación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.</p> <p>Explicar la influencia de la adición de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.</p> <p>Explicar el efecto de la aplicación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel.</p> | <p>Las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, serán subrasantes inestables.</p> <p>El efecto de la incorporación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, será favorable reduciendo la plasticidad del material de suelo.</p> <p>La influencia de la adición de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, incrementará el grado de compactación del material de suelo.</p> <p>El efecto de la aplicación de cal viva y cal hidratada en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de la de la Avenida Horacio de la ciudad de San Miguel, mejorará el CBR del suelo</p> | | |
| | | | | |



Anexo 02. Certificados de Control de Calidad de Laboratorio





PROYECTO
SOLICITANTE
LUGAR
MUESTRA
FECHA

- EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL
Ingen. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO
AV. HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL
CALICATA.1 - MUESTRA 1
25 DE MARZO DEL 2024

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 93.34 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 82.54 |
| PESO DEL TARRO | gr | 25.01 |
| PESO DEL AGUA | gr | 10.80 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 57.53 |
| HUMEDAD % | % | 18.77 |

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 | 31.02 | 30.95 | 31.12 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 28.71 | 28.85 | 28.76 |
| PESO DEL TARRO | gr | 21.29 | 22.31 | 21.76 |
| PESO DEL AGUA | gr | 2.31 | 2.10 | 2.36 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 7.42 | 6.54 | 7.00 |
| HUMEDAD % | % | 31.13 | 32.11 | 33.71 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 |

LÍMITE PLÁSTICO

| T-14 | T-15 |
|-------|-------|
| 18.35 | 18.29 |
| 17.35 | 17.16 |
| 8.15 | 8.40 |
| 1.00 | 1.13 |
| 9.20 | 8.76 |
| 10.87 | 12.90 |

LÍMITE LIQUIDO % : 31.78

LÍMITE PLÁSTICO % : 11.88

ÍNDICE PLÁSTICO % : 19.89

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELAZQUEZ"
FICP - CIVIL INGENIERIA CIVIL

Edson Emilio Ruelas Belizario
C.I.B. 1502787



PROYECTO
SOLICITANTE
LUGAR
MUESTRA
FECHA

EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL
Ingen. EDSON EMILIO RUELAS BELUZARDO
AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL
CALICATA 2 - MUESTRA 2
25 DE MARZO DEL 2024

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 94.36 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 81.65 |
| PESO DEL TARRO | gr | 24.15 |
| PESO DEL AGUA | gr | 12.71 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 57.50 |
| HUMEDAD % | % | 22.10 |

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 | 31.97 | 31.25 | 32.06 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 29.02 | 29.24 | 29.54 |
| PESO DEL TARRO | gr | 21.22 | 22.31 | 21.85 |
| PESO DEL AGUA | gr | 2.95 | 2.01 | 2.52 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 7.80 | 6.93 | 7.69 |
| HUMEDAD % | % | 37.82 | 29.00 | 32.77 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 |

LÍMITE PLÁSTICO

| T-14 | T-15 |
|-------|-------|
| 18.48 | 18.87 |
| 17.28 | 17.85 |
| 8.16 | 8.45 |
| 1.22 | 1.02 |
| 9.10 | 9.40 |
| 13.41 | 10.85 |

LÍMITE LIQUIDO % : 32.74

LÍMITE PLÁSTICO % : 12.13

ÍNDICE PLÁSTICO % : 20.61

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

M^{re}. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103267



PROYECTO
SOLICITANTE
LUGAR
MUESTRA
FECHA

EFECCIÓN DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL
Cada: EDSON EMILIO RUELAS BELZARIO
AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL
CALICATA 3- MUESTRA 3
25 DE MARZO DEL 2024

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 98.03 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 84.25 |
| PESO DEL TARRO | gr | 24.12 |
| PESO DEL AGUA | gr | 13.78 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 60.13 |
| HUMEDAD % | % | 22.92 |

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

LÍMITE LÍQUIDO

| TARRO N° | | T-04 | T-10 | T-19 |
|----------------------|----|-------|-------|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 33.02 | 32.98 | 33.11 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 30.34 | 30.22 | 30.31 |
| PESO DEL TARRO | gr | 21.23 | 22.35 | 21.85 |
| PESO DEL AGUA | gr | 2.68 | 2.74 | 2.80 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 9.11 | 7.87 | 8.46 |
| HUMEDAD % | % | 29.42 | 34.82 | 33.10 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 |

LÍMITE PLÁSTICO

| | T-14 | T-15 |
|--|-------|-------|
| | 19.52 | 20.05 |
| | 18.32 | 19.62 |
| | 8.25 | 8.32 |
| | 1.20 | 1.23 |
| | 10.07 | 10.50 |
| | 11.92 | 11.71 |

LÍMITE LÍQUIDO % : 31.90

LÍMITE PLÁSTICO % : 11.82

ÍNDICE PLÁSTICO % : 20.08

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



INVESTIGACIÓN NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
F.C.P. - CIVIL INGENIERÍA CIVIL

Ing. Orlando Yana Torres
C.I.P. 103267



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. EDSON EMILIO RUILES BELZARIO

LUGAR : AV. HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA : 25 DE MARZO DEL 2024

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. | TAMANO MAXIMO: |
|------------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|----------|---|
| 3" | 75.000 | | | | | | DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA P.L.= 2500.00 P.L.= 762.95 P.P.= 1737.05 %w= 18.77 LIMITES DE CONSISTENCIA: LL.= 31.78 LP.= 11.88 LP.= 19.89 CARACT. GRANULOMÉTRICAS: D10= — Cu= — D30= — Cc= — D60= — CLASIFICACIÓN: LG. = SUCS : CH ASSTHO : A-7 OBSERVACIONES: |
| 2 1/2" | 63.000 | | | | | | |
| 2" | 50.000 | | | | | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | | | | | |
| 1" | 25.000 | | | | | | |
| 3/4" | 19.000 | | | | | | |
| 1/2" | 12.500 | | | | | | |
| 3/8" | 9.500 | 100.00 | 4.00 | 4.00 | 96.00 | | |
| 1/4" | 6.300 | | | | | | |
| No4 | 4.750 | 97.35 | 3.89 | 7.89 | 92.11 | | |
| No8 | 2.360 | | | | | | |
| No10 | 2.000 | 96.95 | 3.88 | 11.77 | 88.23 | | |
| No16 | 1.180 | | | | | | |
| No20 | 0.850 | 96.75 | 3.87 | 15.64 | 84.36 | | |
| No30 | 0.600 | | | | | | |
| No40 | 0.425 | 96.35 | 3.85 | 19.50 | 80.50 | | |
| No 50 | 0.300 | 96.35 | 3.85 | 23.35 | 76.65 | | |
| No60 | 0.250 | | | | | | |
| No80 | 0.180 | | | | | | |
| No100 | 0.150 | 91.65 | 3.87 | 27.02 | 72.98 | | |
| No200 | 0.075 | 87.55 | 3.50 | 30.52 | 69.48 | | |
| BASE | | 1737.05 | 59.48 | 100.00 | 0.00 | | |
| TOTAL | | 2500.00 | 100.00 | | | | |
| % PERDIDA | | 59.48 | | | | | |



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

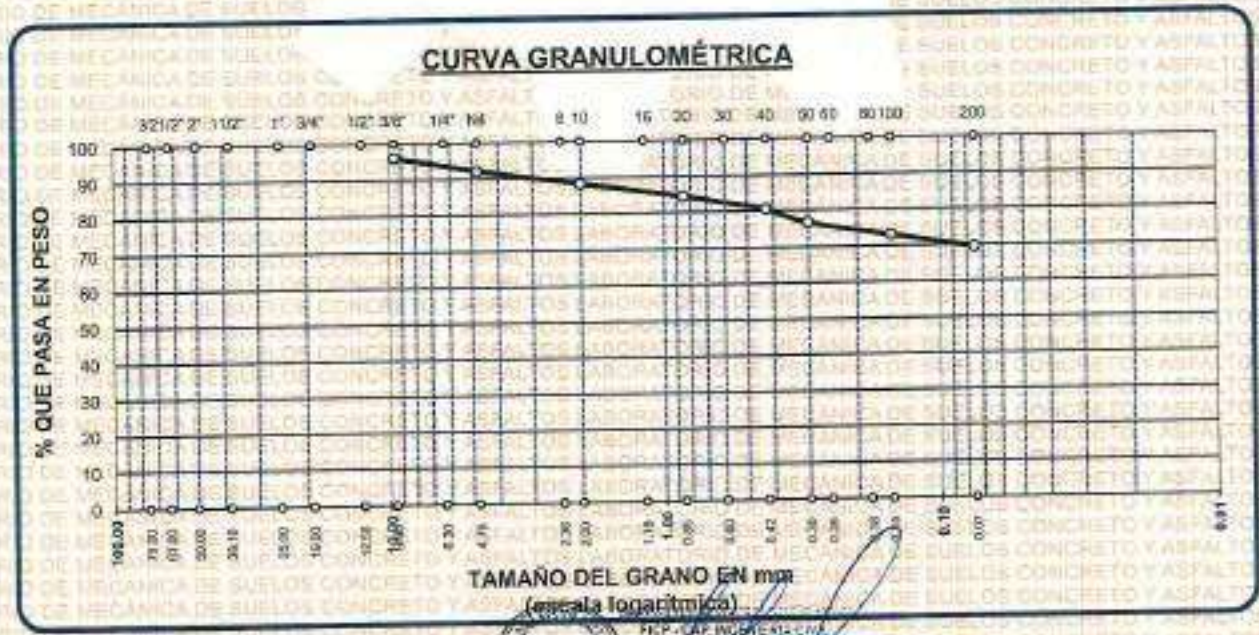
SOLICITANTE: Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

LUGAR: AV. HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

MUESTRA: CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA: 25 DE MARZO DEL 2024

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. | TAMAÑO MÁXIMO: |
|--------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|----------|---------------------------|
| 3" | 75.000 | | | | | | DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA |
| 2 1/2" | 63.000 | | | | | | P.L.= 2500.00 |
| 2" | 50.000 | | | | | | P.L.= 762.55 |
| 1 1/2" | 38.100 | | | | | | P.P.= 1737.45 |
| 1" | 25.000 | | | | | | %W= 18.17 |
| 3/4" | 19.000 | | | | | | LIMITES DE CONSISTENCIA: |
| 1/2" | 12.500 | | | | | | LL= 31.78 |
| 3/8" | 9.500 | 100.00 | 4.00 | 4.00 | 96.00 | | L.P.= 11.88 |
| 1/4" | 6.300 | | | | | | L.P.= 19.89 |
| No4 | 4.750 | 97.05 | 3.88 | 7.88 | 92.12 | | CARACT. GRANULOMÉTRICAS: |
| No8 | 2.360 | | | | | | D10= --- Cu= --- |
| No10 | 2.000 | 98.55 | 3.86 | 11.74 | 88.26 | | D30= --- Cc= --- |
| No16 | 1.180 | | | | | | D60= --- |
| No20 | 0.850 | 96.35 | 3.85 | 15.60 | 84.40 | | CLASIFICACIÓN: |
| No30 | 0.600 | | | | | | I.G. = |
| No40 | 0.425 | 96.95 | 3.88 | 19.48 | 80.52 | | SUCS : CH |
| No 50 | 0.300 | 96.95 | 3.88 | 23.35 | 76.65 | | ASSTHO : A-7 |
| No60 | 0.250 | | | | | | OBSERVACIONES: |
| No80 | 0.180 | | | | | | |
| No100 | 0.150 | 91.35 | 3.65 | 27.01 | 72.99 | | |
| No200 | 0.075 | 87.35 | 3.49 | 30.50 | 69.50 | | |
| BASE | | 1737.45 | 89.50 | 100.00 | 0.00 | | |
| TOTAL | | 2500.00 | 100.00 | | | | |
| % PERDIDA | | | | | | | |





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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HORATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

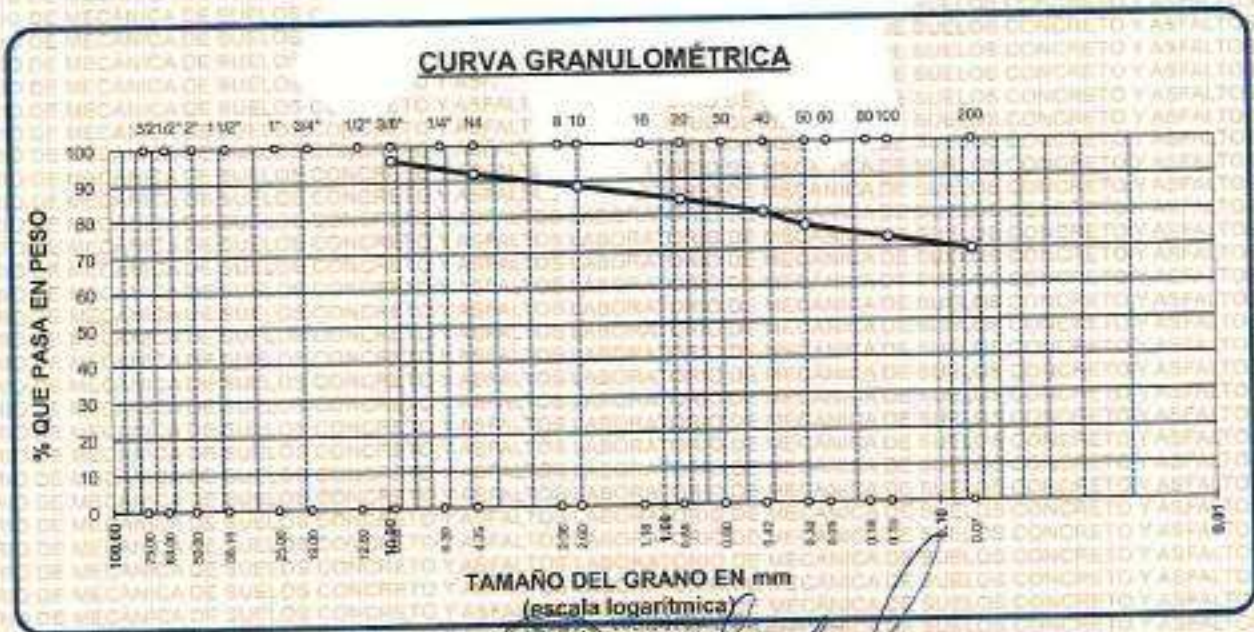
SOLICITANTE: Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

LUGAR: AV. HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

MUESTRA: CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA: 25 DE MARZO DEL 2024

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. | TAMANO MAXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA |
|--------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|----------|---|
| 3" | 75.000 | | | | | | P.I.= 2500.00 |
| 2 1/2" | 63.000 | | | | | | P.L.= 761.85 |
| 2" | 50.000 | | | | | | P.P.= 1738.15 |
| 1 1/2" | 38.100 | | | | | | %W= 18.77 |
| 1" | 25.000 | | | | | | LIMITES DE CONSISTENCIA: |
| 3/4" | 19.000 | | | | | | LL= 31.78 |
| 1/2" | 12.500 | | | | | | LP= 11.88 |
| 3/8" | 9.500 | 100.00 | 4.00 | 4.00 | 96.00 | | IP= 19.89 |
| 1/4" | 6.300 | | | | | | CARACT. GRANULOMÉTRICAS: |
| No4 | 4.750 | 97.25 | 3.89 | 7.89 | 92.11 | | D10= — Cu= — |
| No8 | 2.360 | | | | | | D30= — Ca= — |
| No10 | 2.000 | 96.75 | 3.87 | 11.76 | 88.24 | | D60= — |
| No16 | 1.180 | | | | | | CLASIFICACIÓN: |
| No20 | 0.850 | 96.55 | 3.86 | 15.62 | 84.38 | | I.G. = |
| No30 | 0.600 | | | | | | SUCS : CH |
| No40 | 0.425 | 96.15 | 3.85 | 19.47 | 80.53 | | ASSTHO : A-7 |
| No50 | 0.300 | 96.15 | 3.85 | 23.31 | 76.69 | | OBSERVACIONES: |
| No80 | 0.250 | | | | | | |
| No90 | 0.180 | | | | | | |
| No100 | 0.150 | 91.55 | 3.66 | 26.96 | 73.02 | | |
| No200 | 0.075 | 87.45 | 3.50 | 30.47 | 69.53 | | |
| BASE | | 1738.15 | 69.53 | 100.00 | 0.00 | | |
| TOTAL | | 2500.00 | 100.00 | | | | |
| % PERDIDA | | | | | | | |



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

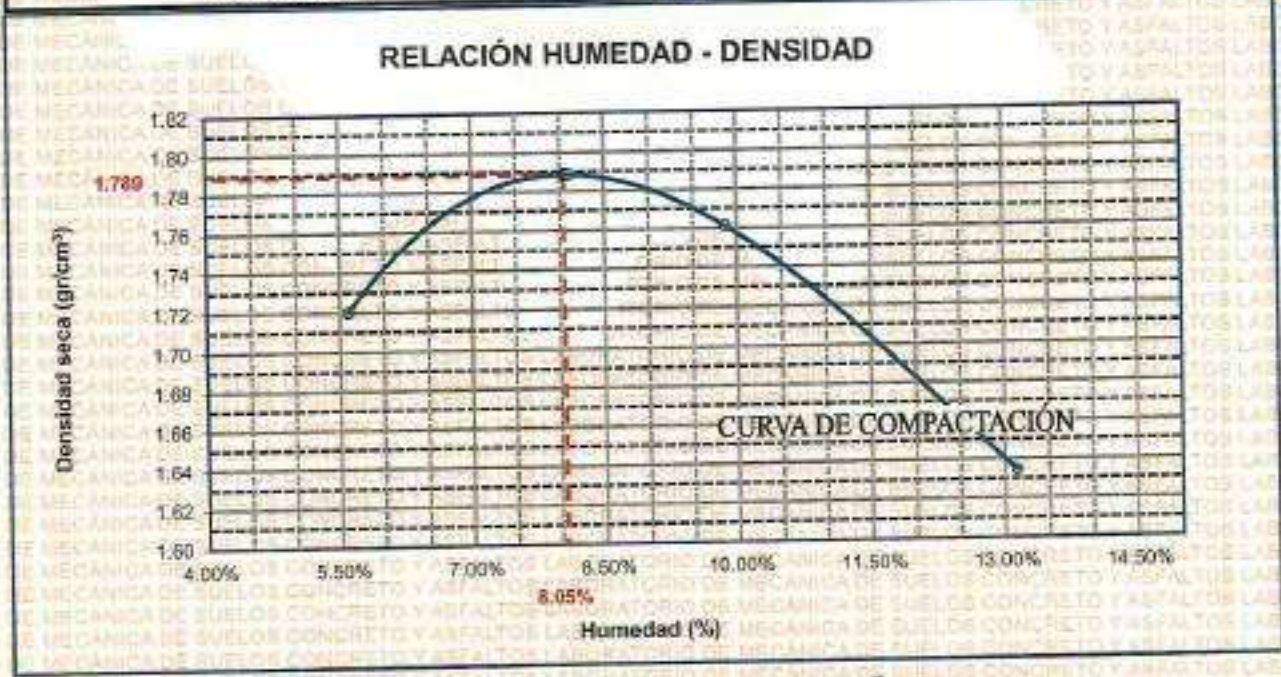
| | | | |
|-------------|--|--|--|
| TESIS | EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| SOLICITANTE | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELZARIO | | |
| UBICACIÓN | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| PROGRESIVA | KM 0+500 | | |
| MUESTRA | CALICATA 1 - MUESTRA 1 | | |
| FECHA | 25 DE MARZO DEL 2024 | | |

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

| | | | | | |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr. | 9805 | 10052 | 10055 | 9874 |
| Peso del Molde | gr. | 5982 | 5982 | 5982 | 5982 |
| Peso del Suelo Humedo | gr/cm ³ . | 3823 | 4070 | 4073 | 3892 |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm ³ . | 1.916 | 1.933 | 1.935 | 1.849 |

| Capsula No | No | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula | gr. | 422.85 | 413.35 | 442.31 | 422.35 | 433.30 | 413.87 | 409.83 | 380.65 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 402.75 | 385.74 | 415.86 | 393.85 | 401.67 | 381.38 | 361.52 | 360.15 |
| Peso del Agua | gr. | 19.90 | 17.61 | 26.45 | 28.50 | 31.63 | 32.49 | 48.31 | 20.50 |
| Peso de la Capsula | gr. | 84.35 | 84.46 | 63.75 | 83.74 | 85.86 | 86.36 | 84.52 | 85.36 |
| Peso del Suelo Seco | gr. | 308.40 | 331.29 | 351.90 | 330.11 | 335.81 | 316.00 | 297.00 | 294.80 |
| % de Humedad | % | 5.88% | 5.32% | 7.58% | 8.83% | 9.42% | 10.32% | 16.27% | 10.01% |
| Promedio de Humedad | % | 5.69% | | 8.10% | | 9.87% | | 13.14% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.720 | | 1.789 | | 1.761 | | 1.634 | |

| | | | |
|---------|---------------------------------|----------------------|--------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 MODIFICADO "C" | MAXIMA DENSIDAD SECA | 1.789 gr/cm ³ |
| | | HUMEDAD OPTIMA | 8.05% |



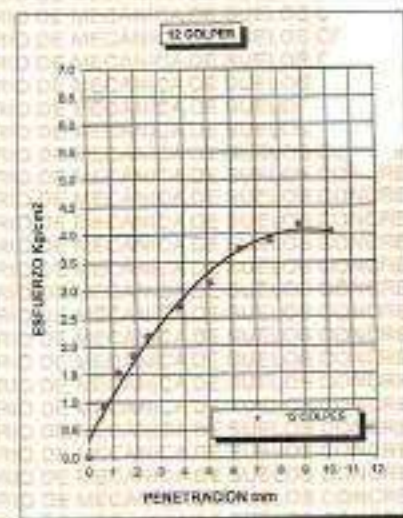
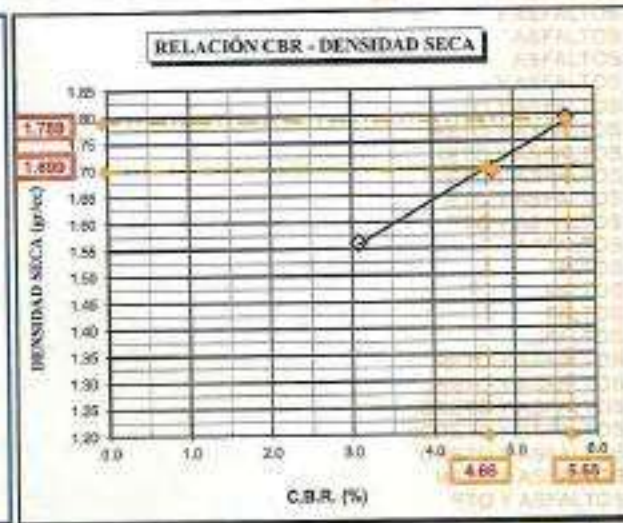
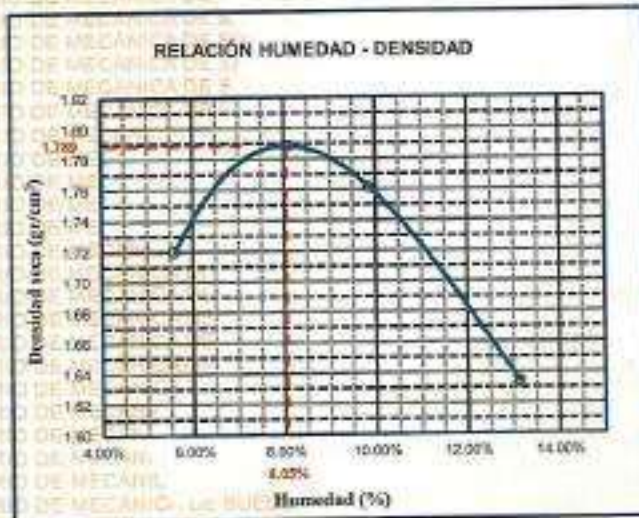

 M.S.C.A.
 JEFE DEL LABORATORIO



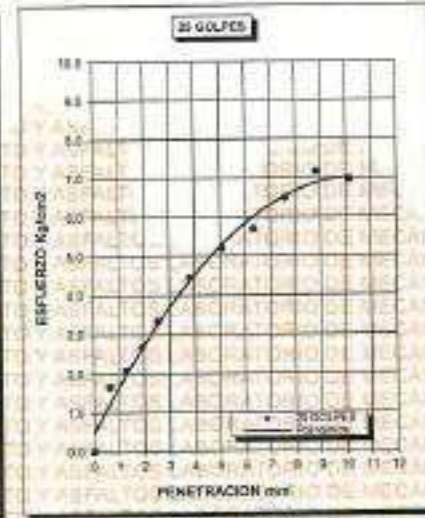
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



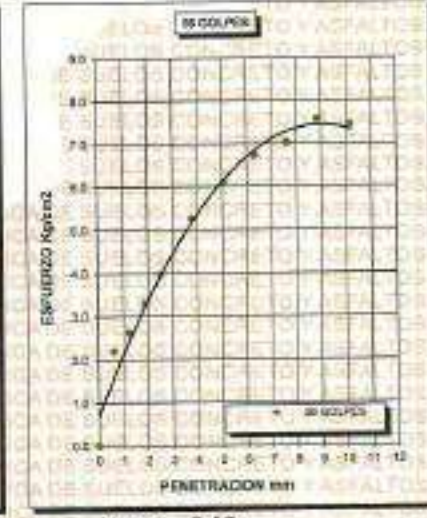
| | | | |
|---------------------|---|--|--------|
| PROYECTO : | EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91 | |
| SOLICITADO : | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) | 1.789 |
| UBICACIÓN : | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) | 8.05% |
| PROGRESIVA : | KM 0+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) | 5.65 |
| MUESTRA : | SUELO NATURAL - CALICATA - M1 | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 4.66 |
| FECHA : | 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACIÓN : | CL |
| | | AASHTO : | A-2 |
| | | EMBEBIDO : | 4 DIAS |



CBR 3.09



CBR 4.74



CBR 5.65



INVESTIGADOR AUTÓCRATE EN ASISTENTE
 RCP - CARRANDE NIÑA S/RE.
 M.S.C.A. EDUARDO
 Agui Arnaldo Jona Torres
 CIP: 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

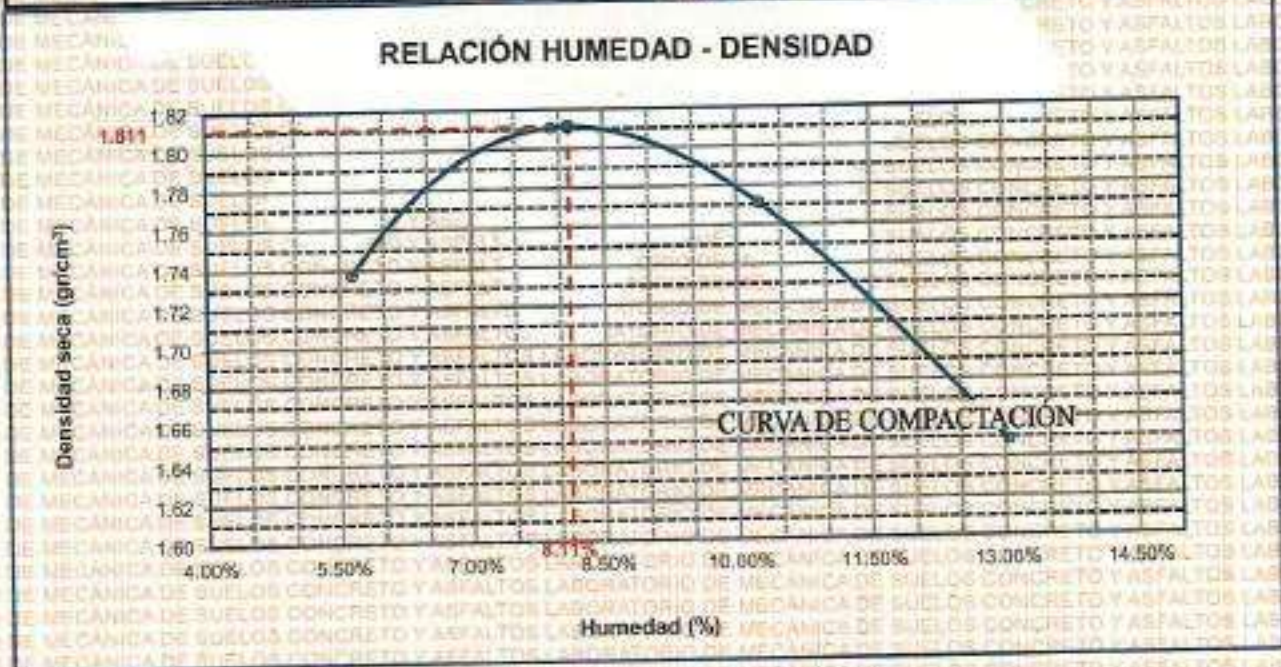
| | | | |
|-------------|--|--|--|
| TESIS | EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRABANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| SOLICITANTE | : Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELUZARIO | | |
| UBICACIÓN | : AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| PROGRESIVA | : KM 2+500 | | |
| MUESTRA | : CALICATA 2 - MUESTRA 2 | | |
| FECHA | : 07 DE FEBRERO DEL 2024 | | |

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

| | | | | | |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr. | 9845 | 10095 | 10092 | 9905 |
| Peso del Molde | gr. | 5982 | 5982 | 5982 | 5982 |
| Peso del Suelo Húmedo | gr/cm ³ . | 3863 | 4113 | 4110 | 3923 |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm ³ . | 1.835 | 1.954 | 1.952 | 1.884 |

| Capsula No | No | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula | gr. | 425.35 | 412.80 | 441.60 | 421.88 | 434.50 | 412.96 | 411.95 | 380.24 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 405.15 | 386.25 | 418.36 | 382.85 | 398.96 | 380.95 | 381.67 | 362.35 |
| Peso del Agua | gr. | 20.20 | 17.70 | 24.69 | 28.01 | 34.52 | 32.01 | 49.68 | 27.89 |
| Peso de la Capsula | gr. | 64.71 | 64.43 | 63.55 | 64.65 | 66.32 | 65.83 | 65.21 | 66.25 |
| Peso del Suelo Seco | gr. | 340.44 | 330.82 | 353.41 | 328.20 | 333.66 | 316.02 | 296.46 | 297.30 |
| % de Humedad | % | 5.93% | 5.35% | 6.96% | 8.64% | 10.35% | 10.18% | 16.76% | 9.31% |
| Promedio de Humedad | % | 5.64% | | 7.51% | | 10.25% | | 13.64% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.737 | | 1.811 | | 1.771 | | 1.649 | |

| | | | |
|---------|----------------|----------------------|----------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 | MAXIMA DENSIDAD SECA | : 1.811 gr/cm ³ |
| | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA | : 8.11% |



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUZCO
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

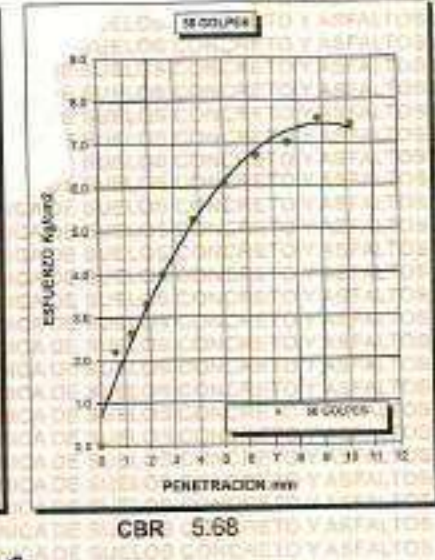
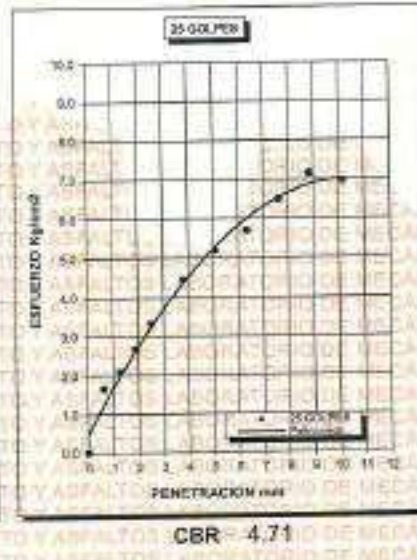
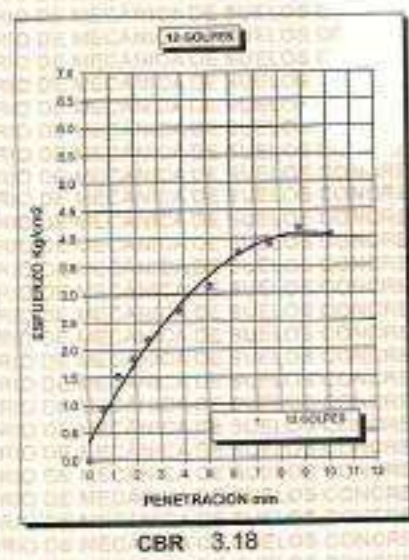
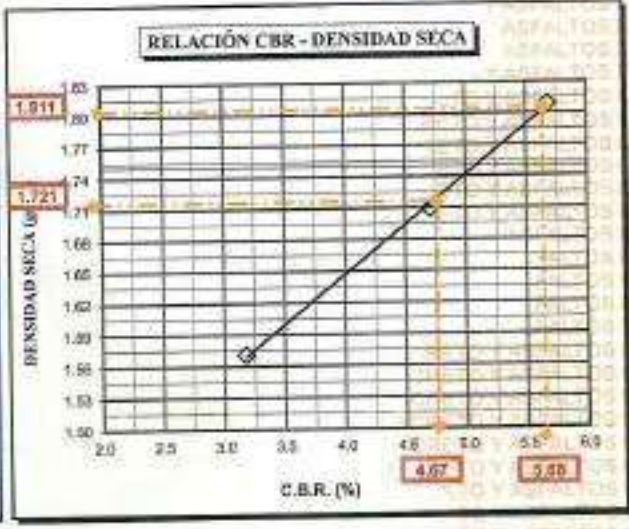
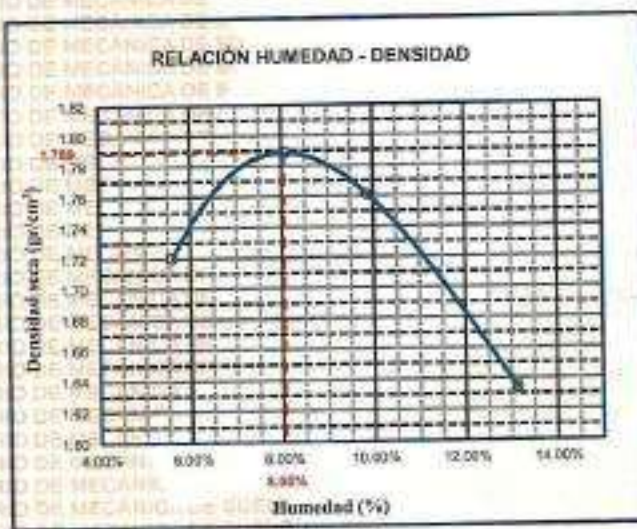
[Firma manuscrita]

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
R.S.C.A. JEFATURA



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 : | "EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL" | METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91 | |
| SOLICITADO : | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) | 1.811 |
| UBICACIÓN : | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) | 8.11% |
| PROGRESIVA : | KM 2+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) | 5.68 |
| MUESTRA : | SUELO NATURAL - CALICATA - MG | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 4.67 |
| FECHA : | 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACIÓN : | CL |
| | | AASHTO : | A-2 |
| | | EMBEBIDO : | 4 DIAS |



LABORATORIO N.S.C.A. UANCV
 INGENIERIA CIVIL
 Mtro. Edson Ruelas Belizario
 015 193217



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

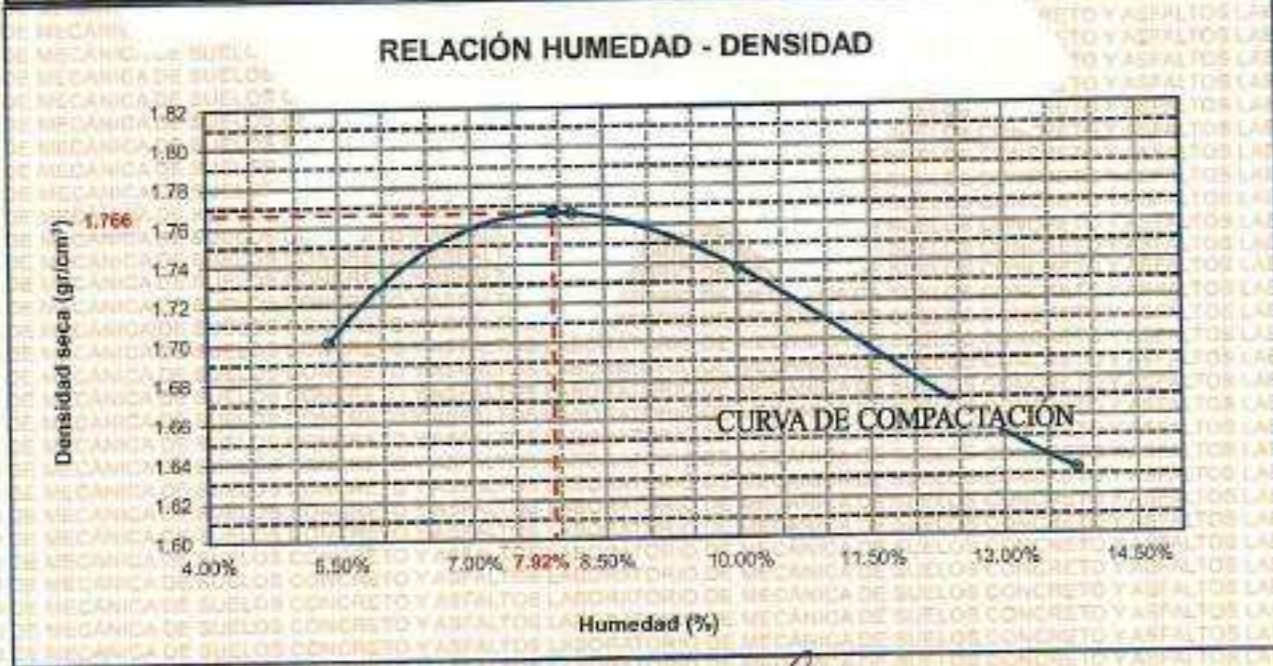
| | | | |
|-------------|--|--|--|
| TESIS | EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| SOLICITANTE | : Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | | |
| UBICACION | : AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| PROGRESIVA | : KM 4+500 | | |
| MUESTRA | : CALICATA 3 - MUESTRA 3 | | |
| FECHA | : 07 DE FEBRERO DEL 2024 | | |

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

| | | | | | |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr. | 9756 | 10002 | 10005 | 9885 |
| Peso del Molde | gr. | 5982 | 5982 | 5982 | 5982 |
| Peso del Suelo Húmedo | gr/cm ³ . | 3774 | 4020 | 4023 | 3913 |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm ³ . | 1.793 | 1.910 | 1.911 | 1.859 |

| Capsula No | No | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula | gr. | 420.35 | 409.85 | 438.56 | 418.30 | 430.65 | 409.85 | 406.98 | 366.62 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 402.65 | 391.57 | 413.52 | 389.96 | 398.54 | 377.52 | 396.21 | 356.34 |
| Peso del Agua | gr. | 17.50 | 18.28 | 25.04 | 28.34 | 32.11 | 32.33 | 50.77 | 29.35 |
| Peso de la Capsula | gr. | 64.74 | 64.39 | 65.44 | 64.66 | 66.69 | 65.90 | 66.92 | 66.57 |
| Peso del Suelo Seco | gr. | 338.11 | 327.18 | 350.08 | 324.30 | 331.85 | 311.62 | 290.39 | 289.67 |
| % de Humedad | % | 5.18% | 5.59% | 7.26% | 9.02% | 9.65% | 10.37% | 17.48% | 10.14% |
| Promedio de Humedad | % | 5.38% | | 8.14% | | 10.03% | | 13.81% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.701 | | 1.766 | | 1.737 | | 1.633 | |

| | | | |
|---------|----------------|----------------------|----------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 | MAXIMA DENSIDAD SECA | : 1.766 gr/cm ³ |
| | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA | : 7.92% |



INVESTIGADOR RESPONSABLE
FICP - CIVIL INGENIERIA CIVIL

[Firma manuscrita]

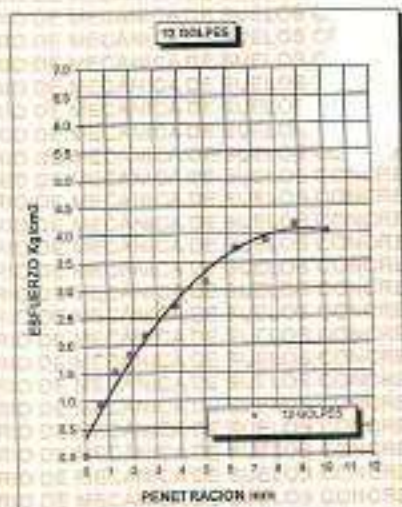
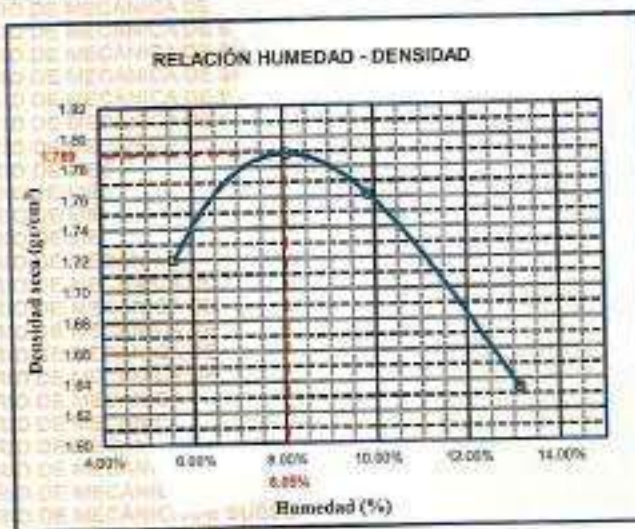
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



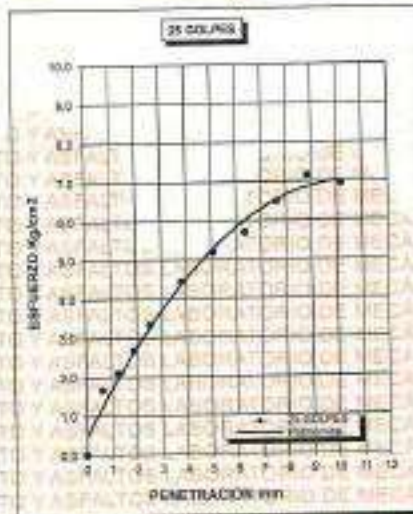
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



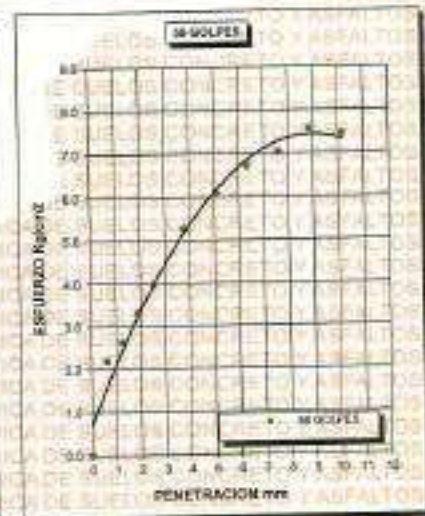
| | | | |
|--------------|--|--|--------|
| PROYECTO : | "EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL" | METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91 | |
| SOLICITADO : | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) | 1,766 |
| UBICACIÓN : | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) | 7,92% |
| PROGRESIVA : | KM 4+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) | 5,54 |
| MUESTRA : | SUELO NATURAL - CALICATA - M3 | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 4,51 |
| FECHA : | 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACIÓN : | CL |
| | | AASHTO : | A-2 |
| | | EMBEBIDO : | 4 DIAS |



CBR 3.11



CBR 4.78



CBR 5.54



PROYECTO

EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE

Bach. EDSON EMILIO HUELAS BELIZARIO

LUGAR

AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

PROGRESIVA

KM 0+500

MUESTRA

CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 2% DE CAL VIVA

FECHA

25 DE MARZO DEL 2024

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 92.17 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 80.95 |
| PESO DEL TARRO | gr | 24.65 |
| PESO DEL AGUA | gr | 11.22 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 56.30 |
| HUMEDAD % | % | 19.93 |

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

LÍMITE LÍQUIDO

| TARRO N° | | T-04 | T-10 | T-19 |
|----------------------|----|-------|-------|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 32.55 | 31.65 | 32.08 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 29.94 | 29.41 | 29.64 |
| PESO DEL TARRO | gr | 21.29 | 22.31 | 21.76 |
| PESO DEL AGUA | gr | 2.61 | 2.24 | 2.42 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 8.65 | 7.10 | 7.88 |
| HUMEDAD % | % | 30.17 | 31.55 | 30.71 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 |

LÍMITE PLÁSTICO

| T-14 | T-15 |
|-------|-------|
| 19.45 | 20.14 |
| 18.11 | 18.95 |
| 8.15 | 8.40 |
| 1.34 | 1.19 |
| 9.96 | 10.55 |
| 13.45 | 11.28 |

LÍMITE LÍQUIDO % : 30.33

LÍMITE PLÁSTICO % : 12.37

ÍNDICE PLÁSTICO % : 17.96

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Ing. Aníbal José Torres
C.P. 103277



PROYECTO : EFECTO DE LA CAL VVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Sr. EDSON EMILIO RUELAS MILIZARIO

LUGAR : AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

PROGRESIVA : KM 0+500

MUESTRA : CALDATA 1 - MUESTRA 1 + 4% DE CAL VVA

FECHA : 25 DE MARZO DEL 2024.

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 92.47 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 81.54 |
| PESO DEL TARRO | gr | 25.14 |
| PESO DEL AGUA | gr | 10.93 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 56.40 |
| HUMEDAD % | % | 19.38 |

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 | 32.64 | 31.95 | 33.14 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 30.14 | 29.77 | 30.57 |
| PESO DEL TARRO | gr | 21.29 | 22.31 | 21.76 |
| PESO DEL AGUA | gr | 2.50 | 2.18 | 2.57 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 8.85 | 7.46 | 8.81 |
| HUMEDAD % | % | 28.25 | 29.22 | 29.17 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 |

LÍMITE PLÁSTICO

| | T-14 | T-15 |
|--|-------|-------|
| | 19.57 | 20.74 |
| | 18.35 | 19.54 |
| | 8.15 | 8.35 |
| | 1.22 | 1.20 |
| | 10.20 | 11.19 |
| | 11.96 | 10.72 |

LÍMITE LIQUIDO % : 28.42

LÍMITE PLÁSTICO % : 11.34

ÍNDICE PLÁSTICO % : 17.08

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL
FOP. CAP. INGENIERÍA CIVIL

M. Sc. Arnaldo Yata Torres
CIP. 103257



PROYECTO : EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

LUGAR : AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

PROGRESIVA : KM 0+500

MUESTRA : CALGATA 1 - MUESTRA 1+ 8% DE CAL VIVA

FECHA : 25 DE MAYO DEL 2024

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 84.75 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 83.74 |
| PESO DEL TARRO | gr | 25.01 |
| PESO DEL AGUA | gr | 11.01 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 58.73 |
| HUMEDAD % | % | 18.75 |

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

| TARRO N° | LÍMITE LÍQUIDO | | | LÍMITE PLÁSTICO | | |
|----------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | T-04 | T-10 | T-19 | T-14 | T-15 | |
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 34.15 | 33.87 | 30.57 | 19.65 | 20.34 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 31.87 | 31.54 | 28.76 | 18.34 | 19.03 |
| PESO DEL TARRO | gr | 22.47 | 22.31 | 21.76 | 8.15 | 8.34 |
| PESO DEL AGUA | gr | 2.28 | 2.33 | 1.81 | 1.31 | 1.31 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 9.40 | 9.23 | 7.00 | 10.19 | 10.69 |
| HUMEDAD % | % | 24.26 | 25.24 | 25.88 | 12.86 | 12.25 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 | | |

LÍMITE LÍQUIDO % : 24.71 **LÍMITE PLÁSTICO % : 12.56**

ÍNDICE PLÁSTICO % : 12.15

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


 DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACIÓN
 FICP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL
 New America Yana Torres
 199057



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

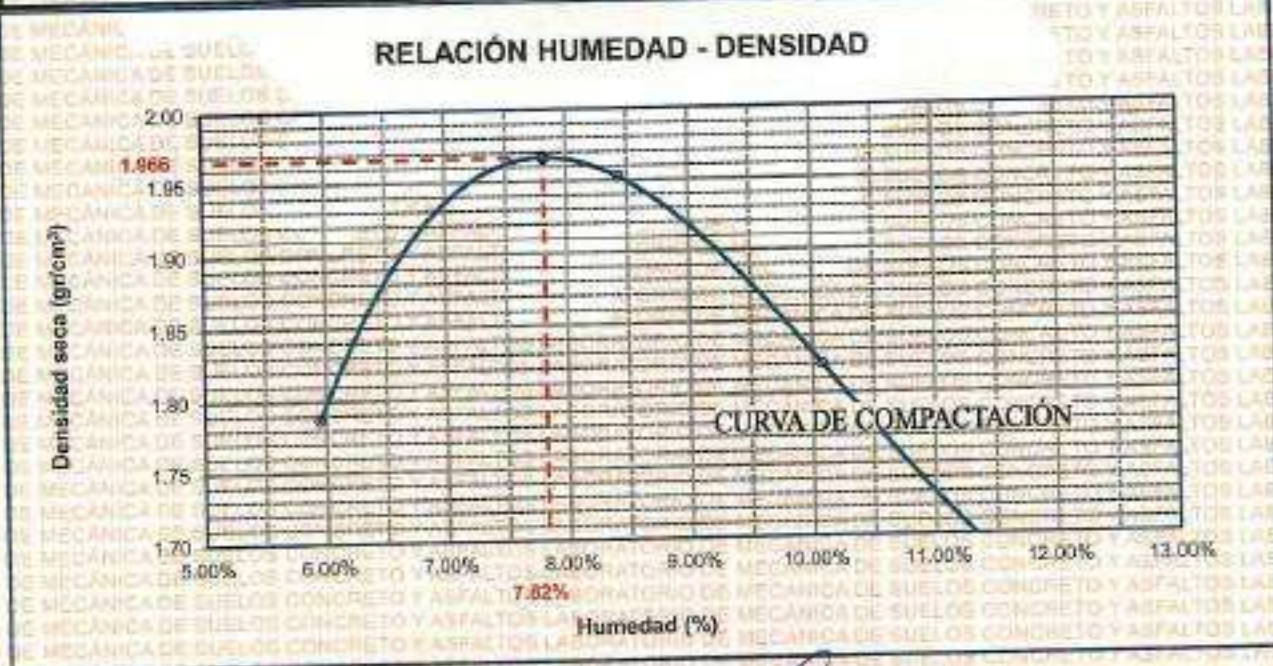
| | | | |
|-------------|--|--|--|
| TESIS | EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| SOLICITANTE | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | | |
| UBICACIÓN | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| PROGRESIVA | KM 0+500 | | |
| MUESTRA | CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 2% DE CAL VIVA | | |
| FECHA | 25 DE MARZO DEL 2024 | | |

| | | | |
|-------------|---|-------------------|----------------------|
| MOLDE No | 1 | VOLUMEN DEL MOLDE | 2104 cm ³ |
| No DE CAPAS | 5 | GOLPES POR CAPA | 56 golpes |

| | | | | | |
|---------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr. | 9960 | 10436 | 10196 | 9897 |
| Peso del Molde | gr. | 5882 | 5882 | 5882 | 5882 |
| Peso del Suelo Humedo | gr/cm ³ | 3983 | 4454 | 4216 | 3915 |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm ³ | 1.893 | 2.117 | 2.004 | 1.881 |

| Capsula No | No | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula | gr. | 429.65 | 415.62 | 442.21 | 424.11 | 436.95 | 415.25 | 410.62 | 389.36 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 403.28 | 394.14 | 412.98 | 396.05 | 401.53 | 384.82 | 386.85 | 362.54 |
| Peso del Agua | gr. | 20.39 | 19.46 | 29.23 | 28.06 | 35.42 | 30.43 | 43.77 | 26.82 |
| Peso de la Capsula | gr. | 62.78 | 64.36 | 63.45 | 64.95 | 65.68 | 65.98 | 66.45 | 66.29 |
| Peso del Suelo Seco | gr. | 340.50 | 329.79 | 349.53 | 331.10 | 335.85 | 318.84 | 330.40 | 296.25 |
| % de Humedad | % | 5.98% | 5.91% | 8.37% | 8.47% | 10.55% | 9.61% | 14.57% | 9.05% |
| Promedio de Humedad | % | 5.95% | | 8.42% | | 10.08% | | 11.81% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.787 | | 1.952 | | 1.820 | | 1.664 | |

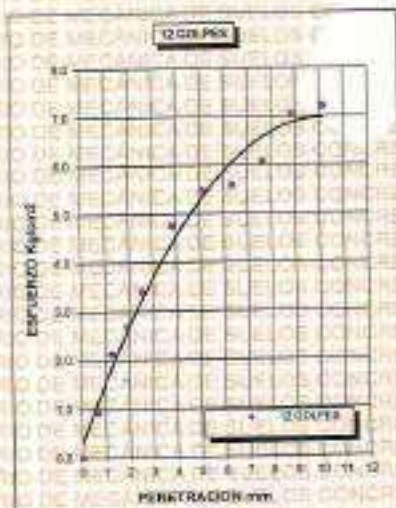
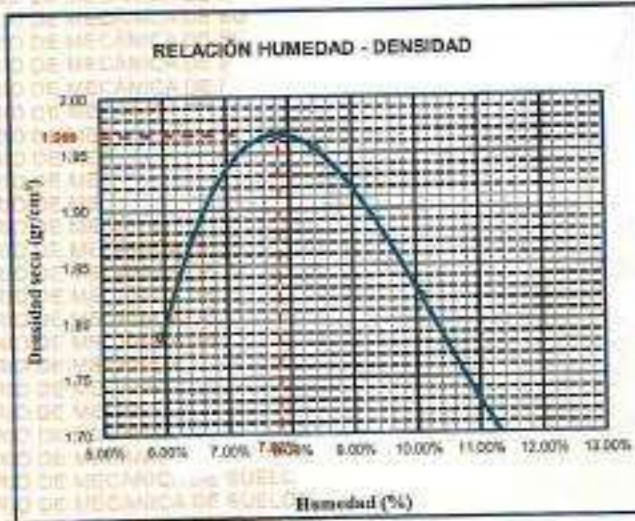
| | | | |
|---------|----------------|----------------------|--------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 | MAXIMA DENSIDAD SECA | 1.966 gr/cm ³ |
| | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA | 7.82% |



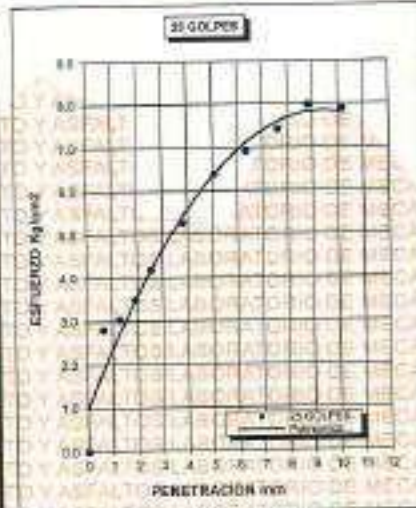
(Firma manuscrita)
 Mtro. Arnaldo Yana Torres



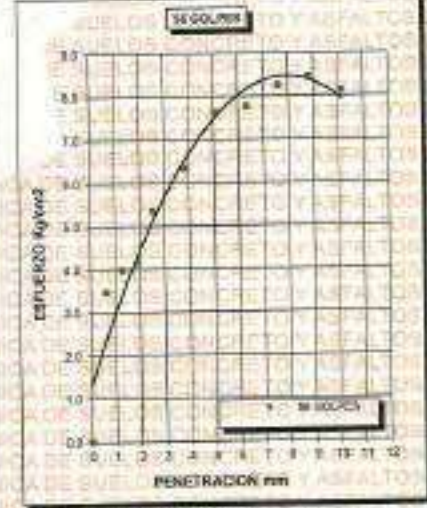
| | |
|---|--|
| PROYECTO : "EFECTO DE LA CAL VMA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL" | METODO DE COMPACTACION ASTM D1557-91 |
| SOLICITADO : Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.966 |
| UBICACIÓN : AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) 7.82% |
| PROGRESIVA : KM 0+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 7.59 |
| MUESTRA : CALICATA - M1 + 2% DE CAL VMA | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 6.02 |
| FECHA : 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACIÓN : CL |
| | AASHTO : A-2 |
| | EMBEBIDO : 4 DIAS |



CBR 4.83



CBR 5.94



CBR 7.59



EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO
 I.C.P. - C.E. INGENIERIA CIVIL
 Ing. Armandito Torres



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

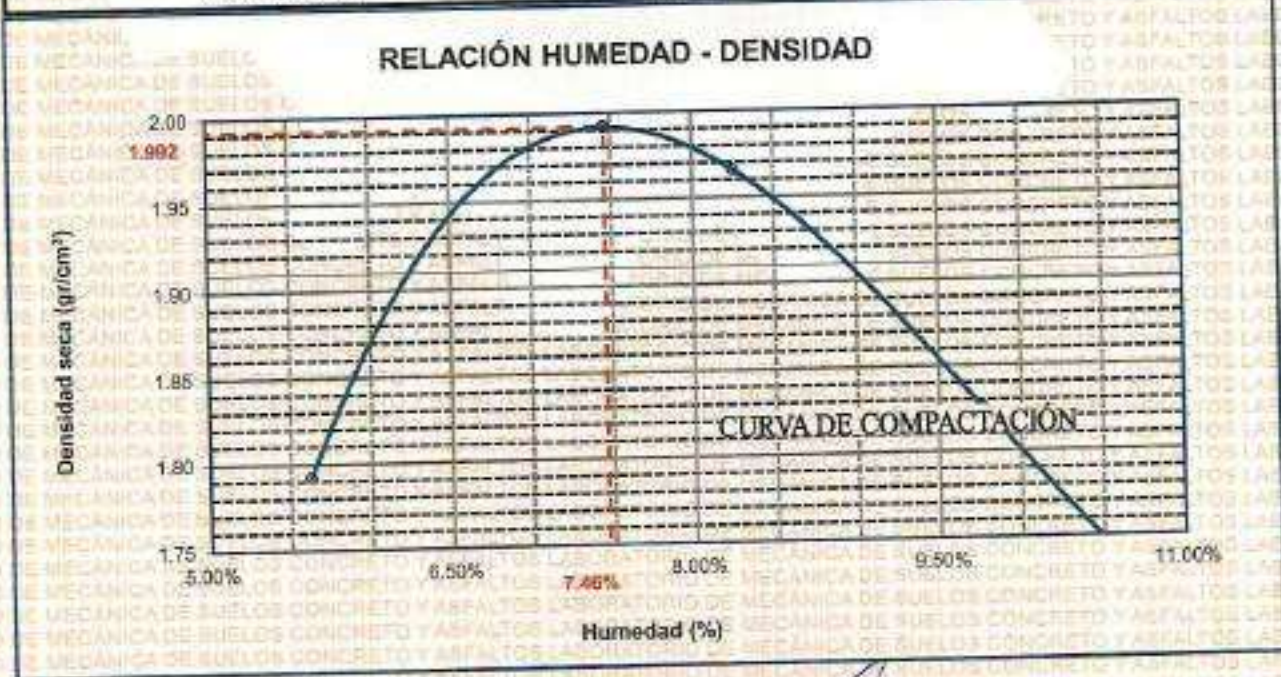
| | |
|-------------|--|
| TEMA | : EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL |
| SOLICITANTE | : Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO |
| UBICACIÓN | : AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL |
| PROGRESIVA | : KM 0+500 |
| MUESTRA | : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 4% DE CAL VIVA |
| FECHA | : 25 DE MARZO DEL 2024 |

| | | | |
|-------------|-----|-------------------|------------------------|
| MOLDE No | : 1 | VOLUMEN DEL MOLDE | : 2104 cm ³ |
| No DE CAPAS | : 5 | GOLPES POR CAPA | : 56 golpes |

| | | | | | |
|---------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr. | 9985 | 10409 | 10198 | 9916 |
| Peso del Molde | gr. | 5982 | 5982 | 5982 | 5982 |
| Peso del Suelo Humedo | gr/cm ³ | 3983 | 4477 | 4216 | 3934 |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm ³ | 1.893 | 2.128 | 2.004 | 1.870 |

| Capsula No | No | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula | gr. | 423.62 | 416.62 | 442.62 | 422.65 | 432.62 | 415.96 | 412.65 | 389.85 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 403.62 | 397.65 | 412.63 | 396.36 | 400.12 | 384.74 | 367.66 | 350.14 |
| Peso del Agua | gr. | 20.00 | 19.97 | 29.99 | 26.29 | 32.50 | 31.22 | 45.00 | 29.51 |
| Peso de la Capsula | gr. | 62.36 | 64.15 | 63.94 | 64.15 | 65.66 | 66.36 | 64.52 | 65.35 |
| Peso del Suelo Seco | gr. | 341.26 | 333.50 | 348.69 | 332.21 | 334.46 | 318.38 | 303.13 | 284.79 |
| % de Humedad | % | 5.86% | 5.35% | 8.59% | 7.91% | 9.72% | 9.81% | 14.85% | 10.01% |
| Promedio de Humedad | % | 5.62% | | 8.25% | | 9.76% | | 12.43% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.792 | | 1.966 | | 1.826 | | 1.663 | |

| | | | |
|---------|----------------|----------------------|----------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 | MAXIMA DENSIDAD SECA | : 1.992 gr/cm ³ |
| | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA | : 7.46% |



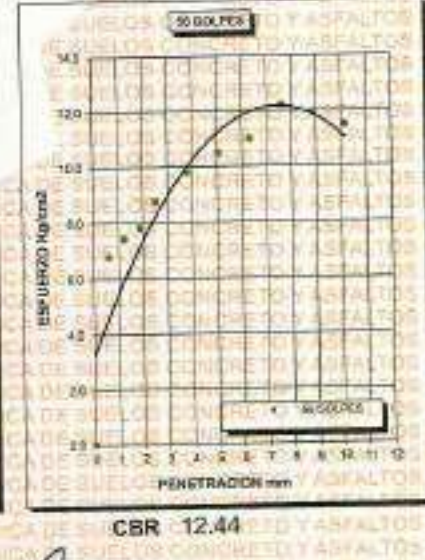
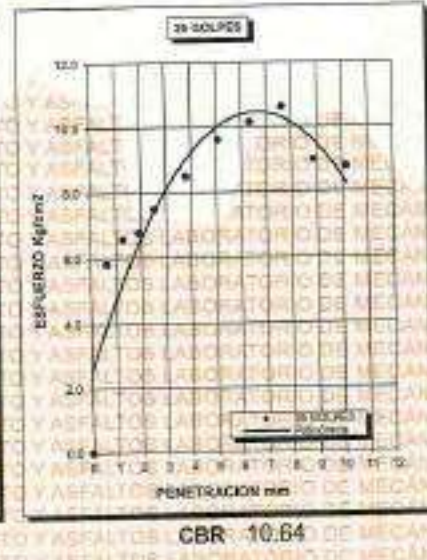
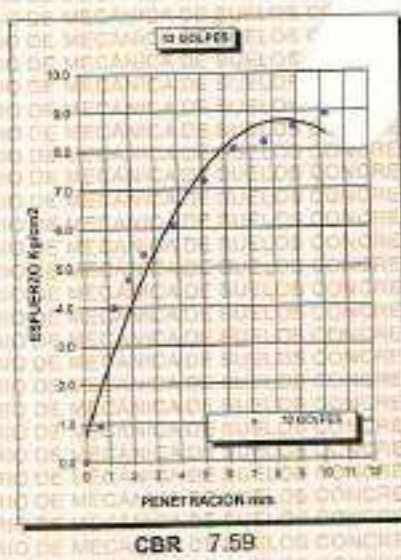
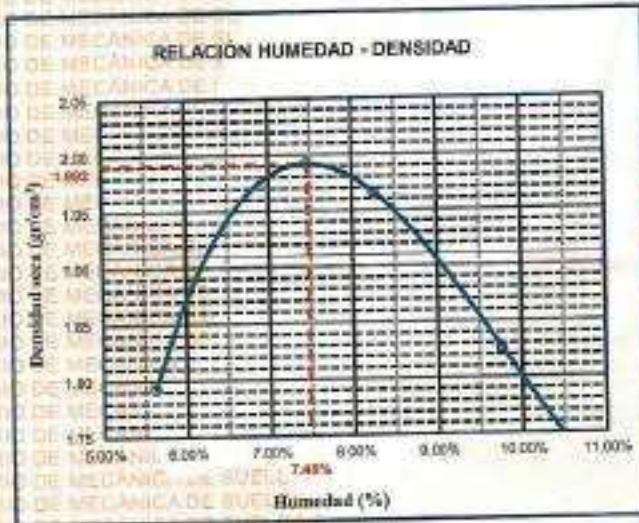
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERDA" VEDADO
EQUIPO DE INVESTIGACION EN MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
EQUIPO DE INVESTIGACION EN MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



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 | EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | METODO DE COMPACTACION ASTM D1557-91 | |
| SOLICITADO | Bach. EDSON EMILO RUELAS BELIZARIO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) | 1.992 |
| UBICACION | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) | 7.46% |
| PROGRESIVA | KM 0+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) | 12.44 |
| MUESTRA | CALICATA - M1 + 4% DE CAL VIVA | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 8.96 |
| FECHA | 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACION | CL |
| | | AASHTO | A-2 |
| | | EMBEBIDO | 4 DIAS |



PROFESOR INVESTIGADOR
 DR. CARLOS ALBERTO GARCIA

RIF: 8006-002936078



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

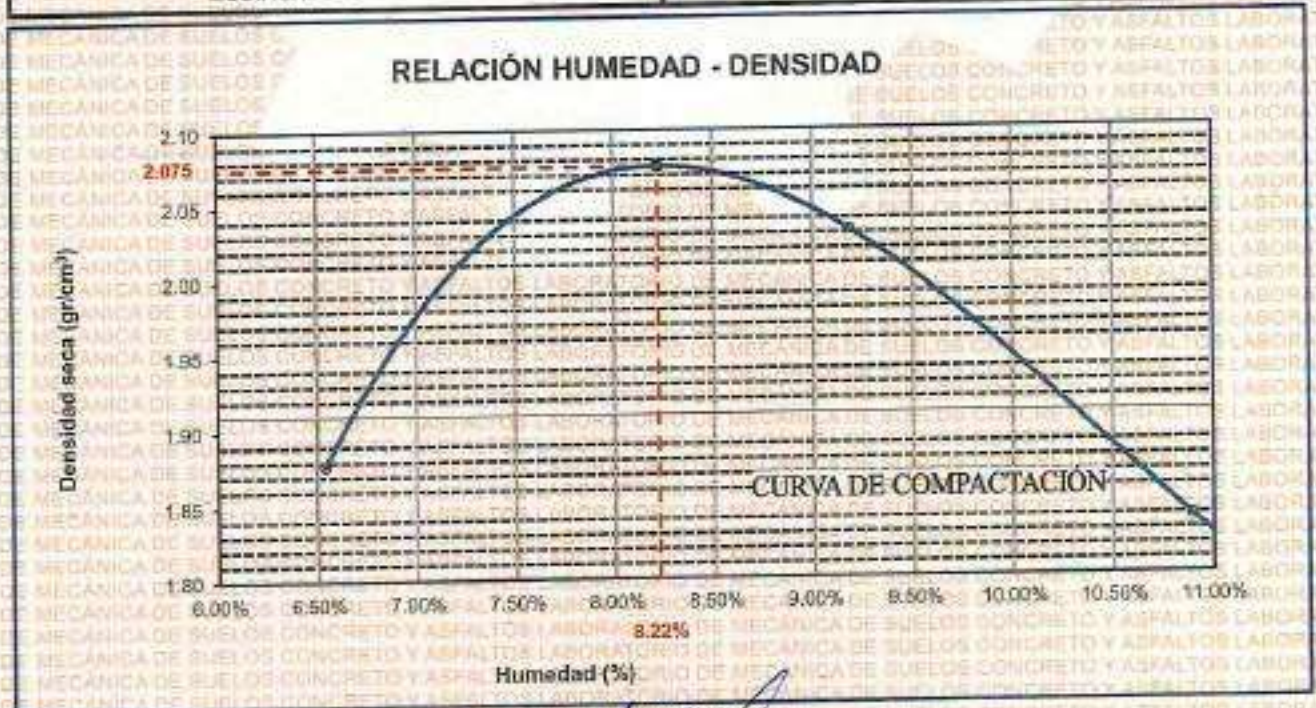
| | | | |
|--------------------|---|--|--|
| TESIS | EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| SOLICITANTE | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | | |
| UBICACION | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| PROGRESIVA | KM 0+500 | | |
| MUESTRA | CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 6% DE CAL VIVA | | |
| FECHA | 25 DE MARZO DEL 2024 | | |

| | | | | | |
|--------------------|---|---|--------------------------|---|----------------------|
| MOLDE No | : | 1 | VOLUMEN DEL MOLDE | : | 2105 cm ³ |
| No DE CAPAS | : | 5 | GOLPES POR CAPA | : | 55 golpes |

| | | | | | |
|---------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr. | 10192 | 10652 | 10274 | 10047 |
| Peso del Molde | gr. | 5982 | 5982 | 5982 | 5982 |
| Peso del Suelo Humedo | gr/cm ³ | 4210 | 4670 | 4292 | 4065 |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm ³ | 2.000 | 2.219 | 2.039 | 1.931 |

| Capsula No | No | SUP. | | INF. | | SUP. | | INF. | |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | gr. | gr. | gr. | gr. | gr. | gr. | gr. | gr. |
| Suelo Humedo + Capsula | gr. | 424.12 | 418.21 | 444.12 | 423.14 | 435.31 | 416.25 | 410.88 | 392.54 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 403.05 | 393.54 | 413.82 | 391.58 | 399.89 | 381.85 | 363.75 | 363.16 |
| Peso del Agua | gr. | 21.07 | 24.67 | 30.30 | 31.56 | 35.42 | 34.40 | 47.13 | 29.38 |
| Peso de la Capsula | gr. | 52.65 | 54.33 | 63.56 | 64.86 | 64.95 | 65.34 | 64.52 | 65.82 |
| Peso del Suelo Seco | gr. | 340.40 | 329.21 | 350.26 | 326.73 | 335.24 | 316.51 | 299.23 | 299.31 |
| % de Humedad | % | 6.13% | 7.49% | 8.71% | 9.66% | 10.92% | 10.87% | 15.66% | 9.82% |
| Promedio de Humedad | % | 6.54% | | 9.19% | | 10.99% | | 12.75% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.877 | | 2.032 | | 1.839 | | 1.713 | |

| | | | | |
|----------------|----------------|-----------------------------|---|--------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 | MAXIMA DENSIDAD SECA | : | 2.075 gr/cm ³ |
| | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA | : | 8.22% |



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

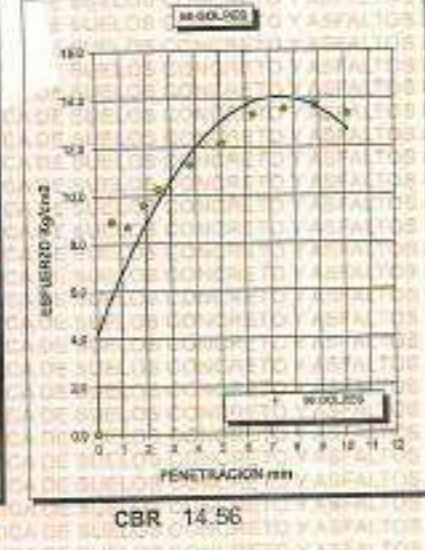
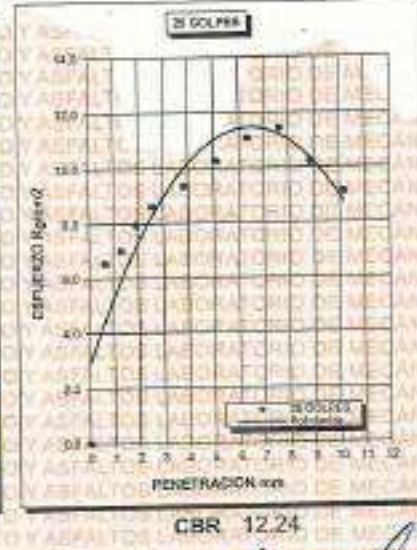
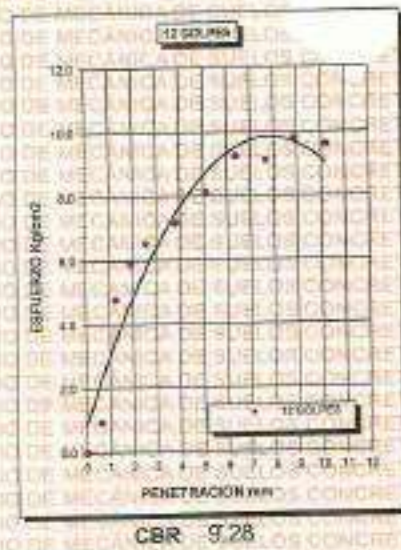
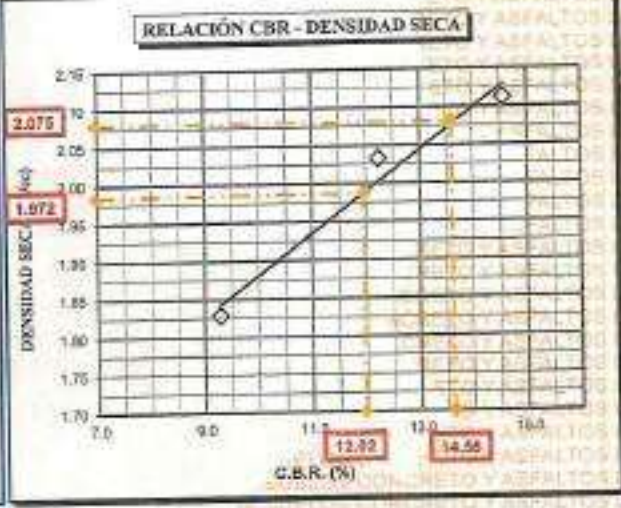
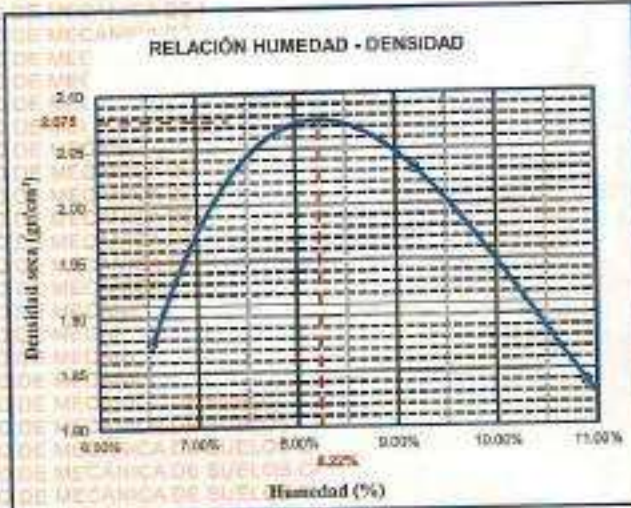
RIC 8006 000025078



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 : | "EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL" | METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91 |
| SOLICITADO : | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 2.075 |
| UBICACIÓN : | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) 8.22% |
| PROGRESIVA : | KM 0+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 14.56 |
| MUESTRA : | CALICATA - M1 + 6% DE CAL VIVA | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 12.02 |
| FECHA : | 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACIÓN : CL |
| | | AASHTO : A-2 |
| | | EMBEBIDO : 4 DIAS |




 EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO
 INGENIERO CIVIL



PROYECTO

EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE

Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

LUGAR

AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

PROGRESIVA

KM 0+500

MUESTRA

CALIGATA 1 - MUESTRA 1+ 1% DE CAL HIDRATADA

FECHA

25 DE MARZO DEL 2024

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 94.38 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 83.25 |
| PESO DEL TARRO | gr | 25.01 |
| PESO DEL AGUA | gr | 11.11 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 58.24 |
| HUMEDAD % | % | 19.08 |

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 | 30.65 | 32.15 | 31.87 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 28.95 | 29.65 | 29.37 |
| PESO DEL TARRO | gr | 21.29 | 22.31 | 21.78 |
| PESO DEL AGUA | gr | 1.70 | 2.50 | 2.50 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 7.66 | 7.34 | 7.61 |
| HUMEDAD % | % | 22.19 | 34.06 | 32.85 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 |

LÍMITE PLÁSTICO

| T-14 | T-15 |
|-------|-------|
| 19.25 | 18.85 |
| 18.14 | 17.52 |
| 8.36 | 8.40 |
| 1.11 | 1.33 |
| 9.78 | 9.12 |
| 11.35 | 14.58 |

LÍMITE LIQUIDO % : 29.10

LÍMITE PLÁSTICO % : 12.97

ÍNDICE PLÁSTICO % : 16.13

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN
VICP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL

Edson Emilio Ruelas Belizario
C.I. 103267



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

PROYECTO: EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE: BARRIL EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

LUGAR: AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

PROGRESIVA: KM 0+500

MUESTRA: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 3% DE CAL HIDRATADA

FECHA: 25 DE MARZO DEL 2024

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 94.58 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 83.24 |
| PESO DEL TARRO | gr | 25.42 |
| PESO DEL AGUA | gr | 11.32 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 57.82 |
| HUMEDAD % | % | 19.58 |

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

| LÍMITE LIQUIDO | | | | LÍMITE PLÁSTICO | | |
|----------------------|----|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| TARRO N° | | T-04 | T-10 | T-19 | T-14 | T-15 |
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 31.52 | 31.57 | 32.08 | 18.45 | 19.02 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 29.36 | 29.47 | 29.55 | 16.54 | 17.62 |
| PESO DEL TARRO | gr | 22.61 | 22.31 | 21.76 | 8.60 | 8.40 |
| PESO DEL AGUA | gr | 2.16 | 2.10 | 2.53 | 1.91 | 1.40 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 6.75 | 7.16 | 7.79 | 7.94 | 9.22 |
| HUMEDAD % | % | 32.00 | 29.33 | 32.48 | 24.06 | 15.18 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 | | |

LÍMITE LIQUIDO % : 30.77 **LÍMITE PLÁSTICO % :** 19.62

ÍNDICE PLÁSTICO % : 11.15

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

Donde:
LL = Límite Líquido
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
Aracely Yana Torres
C.I. 393257



PROYECTO : EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Srch. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

LUGAR : AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

PROGRESIVA : KM 0+800

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 5% DE CAL HIDRATADA

FECHA : 25 DE MARZO DEL 2024

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

| | | |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 94.65 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 83.54 |
| PESO DEL TARRO | gr | 25.01 |
| PESO DEL AGUA | gr | 11.11 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 58.53 |
| HUMEDAD % | % | 18.98 |

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 | 31.58 | 32.58 | 30.95 |
| SUELO SECO + TARRO | gr | 29.34 | 30.28 | 28.95 |
| PESO DEL TARRO | gr | 21.29 | 22.31 | 21.76 |
| PESO DEL AGUA | gr | 2.24 | 2.30 | 2.00 |
| PESO DEL SUELO SECO | gr | 8.05 | 7.97 | 7.19 |
| HUMEDAD % | % | 27.83 | 28.86 | 27.82 |
| N° DE GOLPES | - | 31 | 24 | 14 |

LÍMITE PLÁSTICO

| T-14 | T-15 |
|-------|-------|
| 19.12 | 18.87 |
| 17.86 | 17.83 |
| 8.21 | 8.34 |
| 1.28 | 1.04 |
| 9.65 | 9.49 |
| 13.06 | 10.96 |

LÍMITE LIQUIDO % : 27.74

LÍMITE PLÁSTICO % : 12.01

ÍNDICE PLÁSTICO % : 15.73

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

Donde:
 LL = Límite Líquido
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
 N = Número de Golpes

EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO
INGENIERO CIVIL

25 MARZO 2024



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

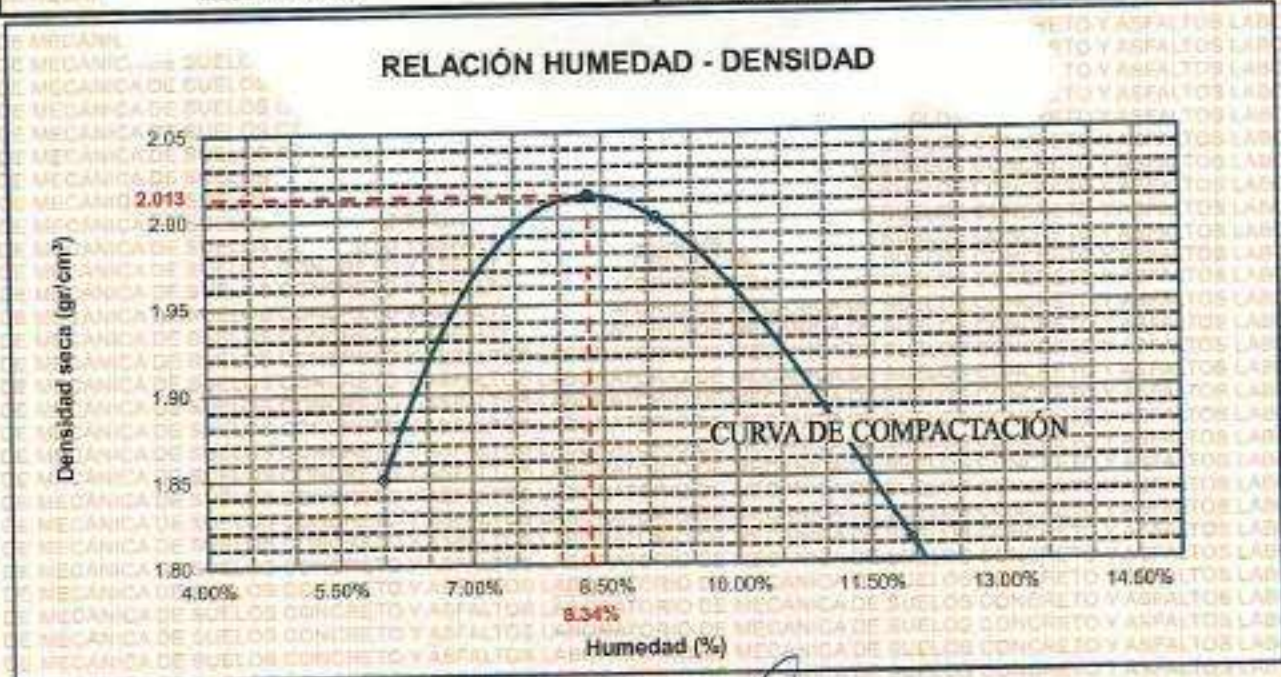
| | | | |
|--------------------|--|--|--|
| TESIS | EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| SOLICITANTE | : Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELZARIO | | |
| UBICACIÓN | : AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| PROGRESIVA | : KM 0+500 | | |
| MUESTRA | : CALICATA 1 - MUESTRA 1+1% DE CAL HIDRATADA | | |
| FECHA | : 25 DE MARZO DEL 2024 | | |

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

| | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Poso Suelo Humedo + Molde | gr. | 10110 | 10575 | 10254 | 9998 |
| Poso del Molde | gr. | 5982 | 5982 | 5982 | 5982 |
| Poso del Suelo Humedo | gr/cm ³ . | 4128 | 4593 | 4272 | 4016 |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm ³ . | 1.961 | 2.182 | 2.029 | 1.908 |

| Capsula No | No | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
|--------------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula | gr. | 422.65 | 409.55 | 443.21 | 419.85 | 435.35 | 416.62 | 413.65 | 398.65 |
| Poso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 402.35 | 389.95 | 411.57 | 389.85 | 395.35 | 378.24 | 365.67 | 360.35 |
| Poso del Agua | gr. | 20.30 | 19.60 | 31.64 | 29.70 | 39.90 | 37.90 | 47.98 | 35.27 |
| Poso de la Capsula | gr. | 62.35 | 64.32 | 63.78 | 63.74 | 66.24 | 65.34 | 66.34 | 66.67 |
| Poso del Suelo Seco | gr. | 340.00 | 325.63 | 347.82 | 326.21 | 330.11 | 313.20 | 299.33 | 293.41 |
| % de Humedad | % | 5.97% | 6.02% | 9.10% | 8.10% | 11.78% | 12.13% | 16.03% | 13.04% |
| Promedio de Humedad | % | 5.99% | | 9.10% | | 11.96% | | 14.34% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.850 | | 2.000 | | 1.813 | | 1.666 | |

| | | | | |
|----------------|----------------|-----------------------------|---|--------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 | MAXIMA DENSIDAD SECA | : | 2.013 gr/cm ³ |
| | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA | : | 8.34% |

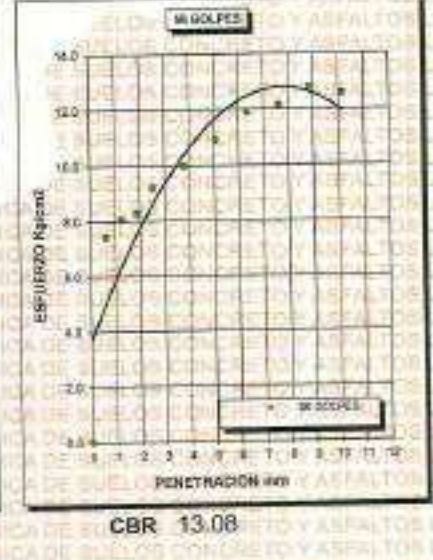
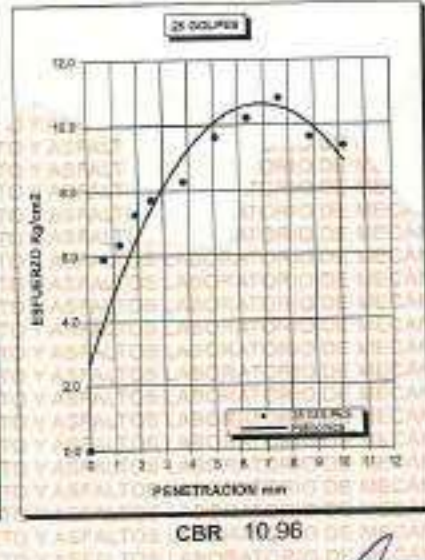
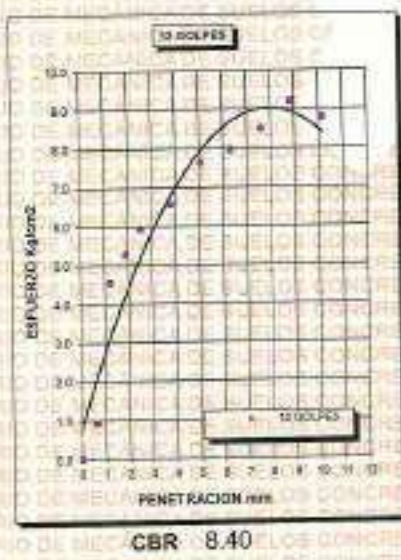
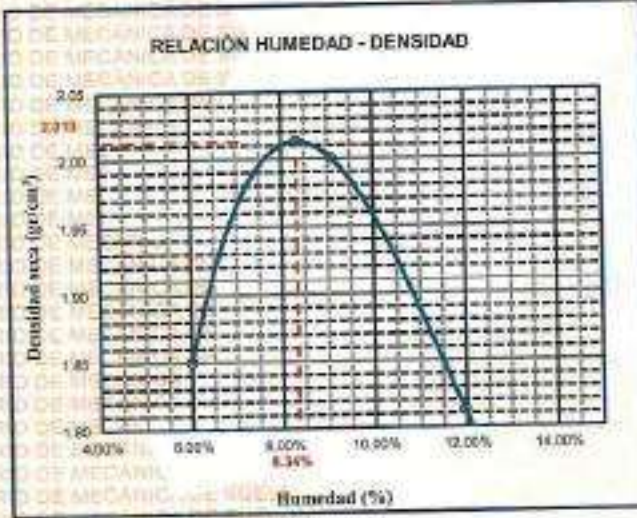


VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



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

| | | | |
|---------------------|--|---|--------|
| PROYECTO : | "EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL" | METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91 | |
| SOLICITADO : | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) | 2.013 |
| UBICACION : | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) | 8.34% |
| PROGRESIVA : | KM 0+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) | 13.08 |
| MUESTRA : | CALICATA - M1+1% DE CAL HIDRATADA | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 10.46 |
| FECHA : | 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACIÓN : | CL |
| | | AASHTO : | A-2 |
| | | EMBEBIDO : | 4 DIAS |




 EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO
 INGENIERO CIVIL
 M.S.C.



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

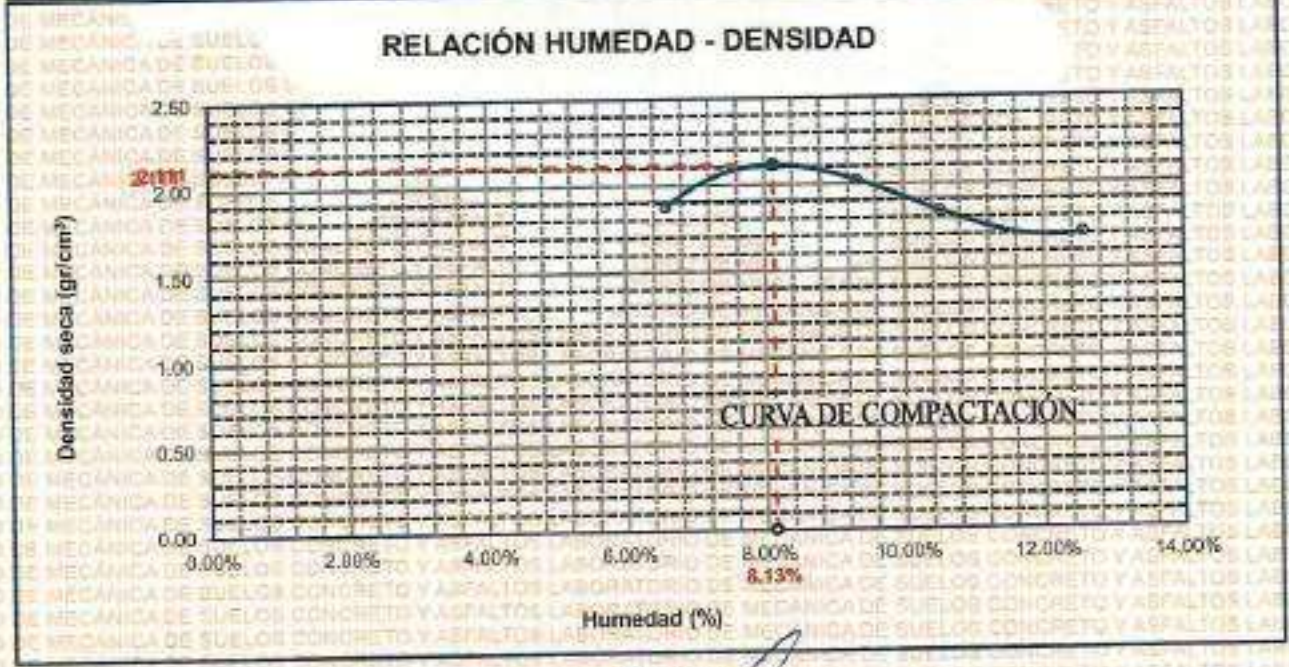
| | | | |
|-------------|--|--|--|
| TESIS | EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| SOLICITANTE | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | | |
| UBICACIÓN | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| PROGRESIVA | KM 0+500 | | |
| MUESTRA | CALICATA 1 - MUESTRA 1+3% DE CAL HIDRATADA | | |
| FECHA | 25 DE MARZO DEL 2024 | | |

| | | | | | |
|-------------|---|---|-------------------|---|----------------------|
| MOLDE No | : | 1 | VOLUMEN DEL MOLDE | : | 2104 cm ³ |
| No DE CAPAS | : | 5 | GOLPES POR CAPA | : | 56 golpes |

| | | | | | |
|---------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr. | 10180 | 10630 | 10260 | 10022 |
| Peso del Molde | gr. | 5982 | 5982 | 5982 | 5982 |
| Peso del Suelo Humedo | gr/cm ³ | 4198 | 4648 | 4278 | 4040 |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm ³ | 1.995 | 2.209 | 2.033 | 1.920 |

| Capsula No | No | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula | gr. | 422.66 | 414.35 | 443.87 | 423.36 | 456.16 | 412.84 | 411.32 | 388.62 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 401.86 | 391.85 | 412.38 | 391.85 | 399.61 | 381.13 | 394.68 | 390.45 |
| Peso del Agua | gr. | 21.30 | 22.49 | 31.49 | 31.51 | 36.55 | 31.71 | 46.64 | 28.17 |
| Peso de la Capsula | gr. | 62.75 | 64.45 | 63.32 | 64.75 | 66.09 | 65.79 | 66.17 | 65.35 |
| Peso del Suelo Seco | gr. | 338.60 | 327.41 | 349.06 | 327.10 | 332.92 | 315.34 | 299.51 | 295.10 |
| % de Humedad | % | 6.29% | 6.87% | 9.02% | 9.83% | 10.98% | 10.06% | 15.57% | 9.55% |
| Promedio de Humedad | % | 6.53% | | 9.93% | | 10.52% | | 12.56% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.872 | | 2.021 | | 1.840 | | 1.706 | |

| | | | | |
|---------|----------------|----------------------|---|--------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 | MAXIMA DENSIDAD SECA | : | 2.111 gr/cm ³ |
| | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA | : | 8.13% |



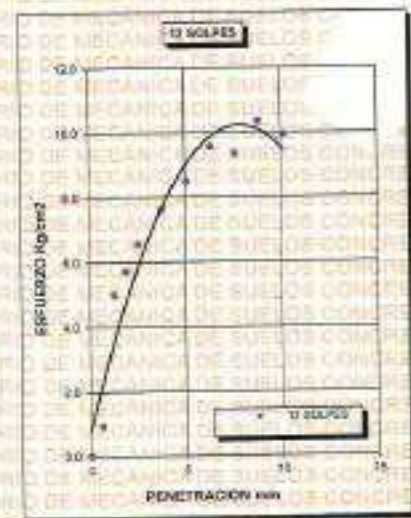
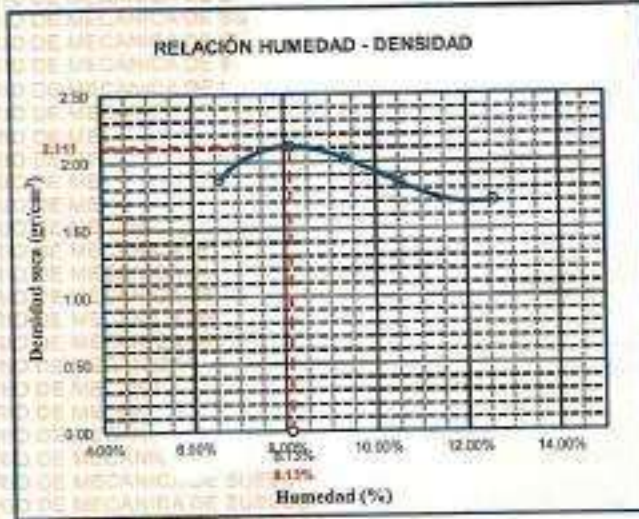

 Director de Laboratorio
 Ing. Edson Emilio Ruelas Belizario



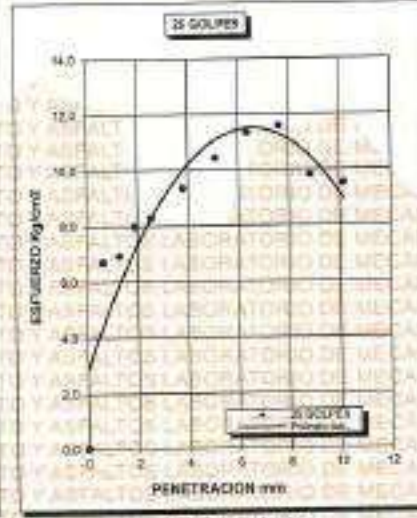
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



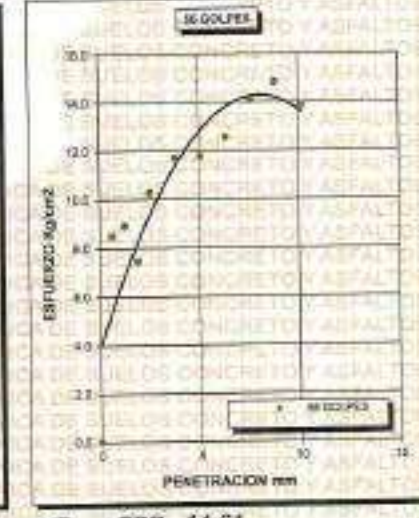
| | | | |
|---------------------|--|--|--------|
| PROYECTO : | "EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL" | METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91 | |
| SOLICITADO : | Bach. EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) | 2.111 |
| UBICACIÓN : | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) | 8.13% |
| PROGRESIVA : | KM 0+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) | 14.61 |
| MUESTRA : | CALICATA - M1+3% DE CAL HIDRATADA | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 12.62 |
| FECHA : | 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACIÓN : | CL |
| | | AASHTO : | A-2 |
| | | EMBEBIDO : | 4 DIAS |



CBR 9.31



CBR 11.77



CBR 14.61

[Firma manuscrita]
 EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO
 INGENIERO CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 150 Av. Andina Jorge Torres



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

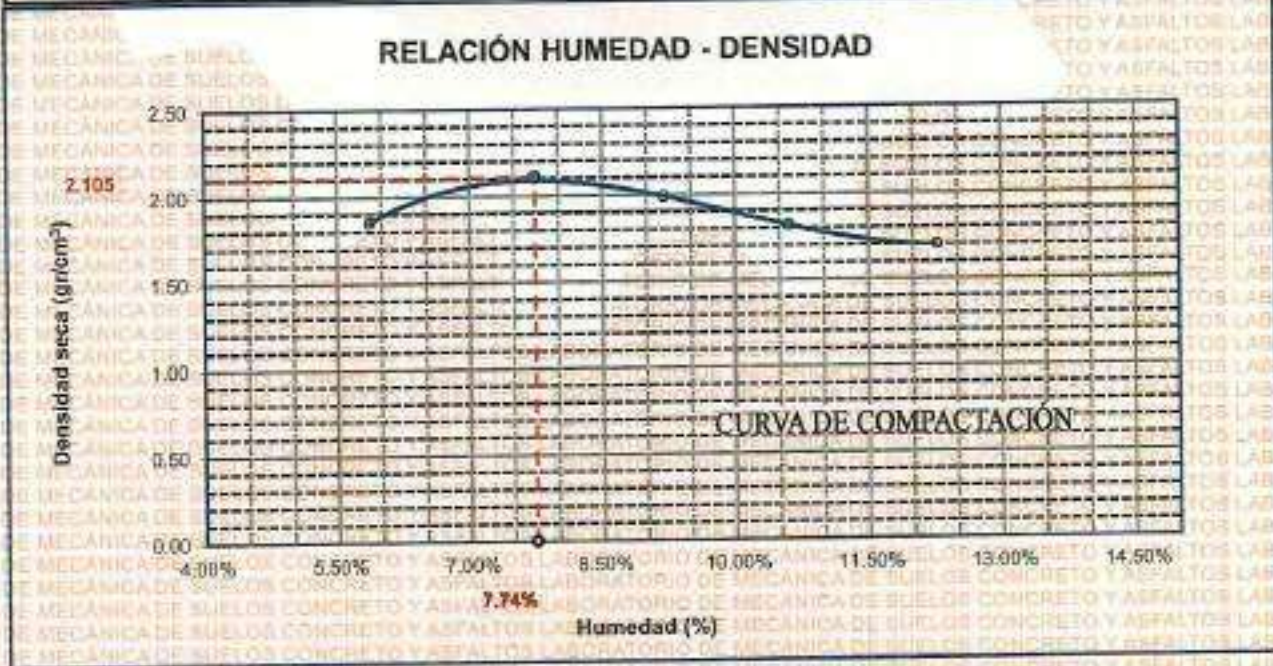
| | | | |
|--------------------|--|--|--|
| TESIS | EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| SOLICITANTE | Bach. EDSON EMILIO RUILES BELIZARIO | | |
| UBICACIÓN | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | | |
| PROGRESIVA | KM 0+500 | | |
| MUESTRA | CALICATA 1 - MUESTRA 1+5% DE CAL HIDRATADA | | |
| FECHA | 25 DE MARZO DEL 2024 | | |

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

| | | | | | |
|----------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr. | 10111 | 10556 | 10213 | 9996 |
| Peso del Molde | gr. | 5982 | 5982 | 5982 | 5982 |
| Peso del Suelo Húmedo | gr/cm ³ | 4129 | 4574 | 4231 | 4014 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cm ³ | 1.952 | 2.173 | 2.010 | 1.907 |

| Capsula No | No | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula | gr. | 425.32 | 410.82 | 445.62 | 421.55 | 435.95 | 411.62 | 408.80 | 388.62 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 404.62 | 391.95 | 415.13 | 399.96 | 399.62 | 380.13 | 392.65 | 362.62 |
| Peso del Agua | gr. | 20.70 | 18.87 | 30.49 | 31.70 | 37.33 | 31.49 | 46.04 | 27.00 |
| Peso de la Capsula | gr. | 62.85 | 59.21 | 64.54 | 63.21 | 65.98 | 64.90 | 63.05 | 66.95 |
| Peso del Suelo Seco | gr. | 341.97 | 328.74 | 350.59 | 328.74 | 332.64 | 215.15 | 298.10 | 290.67 |
| % de Humedad | % | 6.05% | 5.68% | 8.70% | 9.70% | 11.22% | 9.98% | 15.41% | 9.73% |
| Promedio de Humedad | % | 5.97% | | 9.20% | | 10.61% | | 12.27% | |
| Densidad del Suelo Seco | % | 1.853 | | 1.990 | | 1.817 | | 1.698 | |

| | | | |
|----------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557 | MAXIMA DENSIDAD SECA | 2.105 gr/cm ³ |
| | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA | 7.74% |



[Firma manuscrita]

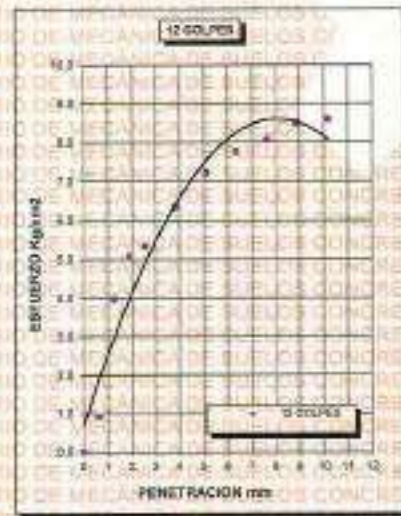
[Sello circular]



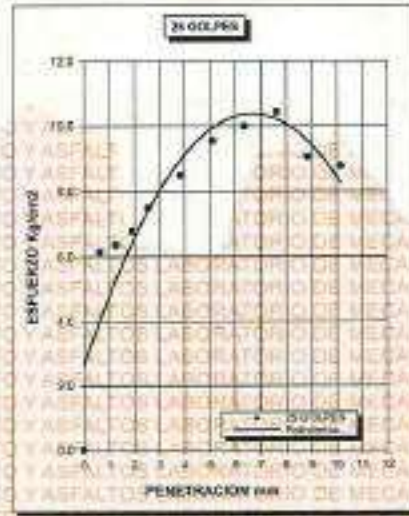
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



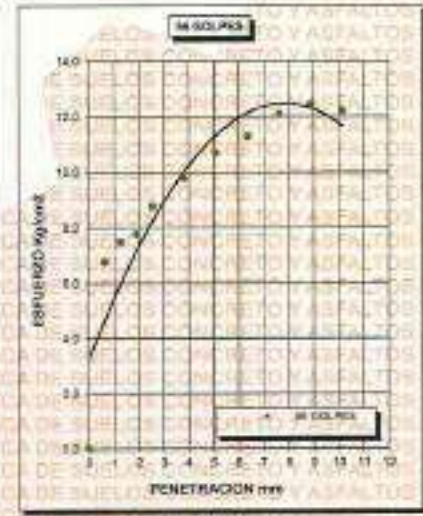
| | | | |
|---------------------|--|--|--------|
| PROYECTO : | "EFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL" | METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91 | |
| SOLICITADO : | Bach. EDBSON EMILIO RUIELAS BELZARDO | MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) | 2.105 |
| UBICACIÓN : | AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL | HUMEDAD OPTIMA (%) | 7.74% |
| PROGRESIVA : | KM 0+500 | CBR AL 100 DE M.D.S. (%) | 12.47 |
| MUESTRA : | CALICATA - M1+6% DE CAL HIDRATADA | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 11.51 |
| FECHA : | 25 DE MARZO DEL 2024 | CLASIFICACIÓN : | CL |
| | | AASHTO : | A-2 |
| | | EMBEBIDO : | 4 DIAS |



CBR 7.59



CBR 10.64



CBR 12.47

[Handwritten signature]
 EDBSON EMILIO RUIELAS BELZARDO
 INGENIERO CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 31-07-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: EDSON EMILIO RUELAS BELIZARIO

Dirección: Av. JOSE C. MARIATEGUI CC-5 C. SATELITE

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 72672398

Teléfono: 977 584 151 email: belizario2000bel@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EFFECTO DE LA CAL VIVA Y CAL HIDRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE
SUBRASANTE DE LA AVENIDA HORACIO DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

Palabras claves, (3 a 5 términos): CAL VIVA, CAL HIDRATADA, SUBRASANTE, PLASTICIDAD, COMPACTACIÓN

¿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, entre 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 no con fines comerciales.



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

31-07-2024

Fecha

