



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA  
CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO  
EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA**

**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**  
**INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA**  
**CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA**  
**OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO**  
**EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA**

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

<b>PRESIDENTE</b>	:	 _____ Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
<b>PRIMER MIEMBRO</b>	:	 _____ Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
<b>SEGUNDO MIEMBRO</b>	:	 _____ Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
<b>ASESOR DE TESIS</b>	:	 _____ Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b>	:	_____ TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1151-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 27 de setiembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024- 011868 presentado por el (la) Bachiller: **NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

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

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

**RESUELVE:**

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

- **Presidente** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- **1er Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- **2do Miembro** : Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

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

**ARTICULO TERCERO . – APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : Jueves 03 de octubre del 2024
- **HORA** : 9:00 a.m.
- **LUGAR** : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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



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

Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 811-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 16 de agosto del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 10342 por el señor (a): **NILVER AUGUSTO TANTAUAHUA NINA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 779 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 146 - 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 señor (a): **NILVER AUGUSTO TANTAUAHUA NINA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 146 - 2024 **aprobandolo** el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

**RESUELVE:**

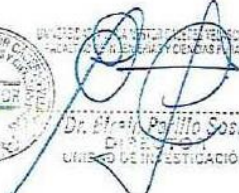
**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **NILVER AUGUSTO TANTAUAHUA NINA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la)**, **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS  
.....  
**MILTON QUISPE HUANCA**  
DECANO  
CIP. 47790

  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
.....  
**Dr. D. P. P. P. P. P.**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 517-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 01 de julio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-07146, presentado el o (la) Bachiller **NILVER AUGUSTO TANTAUAHUA NINA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 530 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 159 -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: **NILVER AUGUSTO TANTAUAHUA NINA** ha presentado su propuesta de investigación **Titulado: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **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° 159 -2024- aprobando la propuesta de investigación **titulado: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024**.

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

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en 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 o 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: **NILVER AUGUSTO TANTAUAHUA NINA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

**Dr. ALBERTO QUISPE HUANCA**  
DECANO  
CIP. 47790



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

**Dr. Efraín Parillo Sosa**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Archivo 2024  
Intercedido 1/1



## INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

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

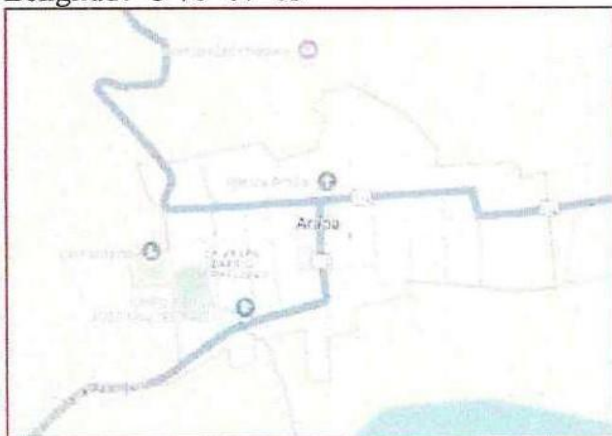
Submitted to Universidad Andina del Cusco



## Metadatos Complementarios

<b>Título de la tesis</b>	
<b>INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Nilver Augusto Tantahuahua Nina
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70095043
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0000-3611-3208">https://orcid.org/0009-0000-3611-3208</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Franz Joseph Barahona Perales
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8509-7224">https://orcid.org/0000-0001-8509-7224</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Efrain Parillo Sosa
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Leonel Suasaca Pelinco
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Fritz Willy Mamani Apaza
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02306659
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú  Departamento: Puno  Provincia: Azángaro  Distrito: Arapa  Latitud: S 15° 08' 30"  Longitud: O 70° 07' 03"</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/gUFdRYsisbIv3C7v8">https://maps.app.goo.gl/gUFdRYsisbIv3C7v8</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2024 - Setiembre 2024
URL de disciplinas OCDE	<b>Ingeniería Civil</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a> <b>Ingeniería de la construcción</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a>
- Librería	

UNIVERSIDAD NACIONAL VESTOR CACERES VELASQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS EXACTAS



Dr. Eirais Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA, identificado con DNI Nro. 70095043, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada:  
INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024

Asesorado por: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 08 de noviembre del 2024

  
Firma del Asesor (obligatoria)

  
Firma del Estudiante (obligatoria)

  
Huella



## DEDICATORIA

A mis amigos, por estar siempre a mi lado,  
compartiendo risas y momentos de desvelo.



## AGRADECIMIENTO

A los docentes, por su dedicación y pasión.

Su capacidad para inspirar y motivar.



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xi</b>

## 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.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	Justificación de la investigación.....	3
1.4.1	Justificación técnica.....	3
1.4.2	Justificación económica.....	4
1.4.3	Justificación social.....	4
1.4.4	Justificación ambiental.....	5
1.5	Hipótesis de la investigación.....	5
1.5.1	Hipótesis general.....	5
1.5.2	Hipótesis específicas.....	5
1.6	Variables e indicadores.....	6
1.6.1	Variable independiente.....	6
1.6.2	Variable dependiente.....	6
1.7	Operacionalización de variables.....	7



### CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1	Antecedentes internacionales .....	8
2.1.2	Antecedente nacional .....	10
2.1.3	Antecedente de ámbito local.....	11
2.2	Bases teóricas .....	12
2.2.1	Subrasante: fundamentos y relevancia en la construcción de carreteras.....	12
2.2.1.1	Definición y funciones de la subrasante.....	14
2.2.1.2	Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.....	15
2.2.1.3	Métodos de evaluación de la capacidad de soporte .....	16
2.2.2	Cenizas volantes: caracterización y usos en ingeniería civil .....	18
2.2.2.1	Origen y propiedades de las cenizas volantes.....	19
2.2.2.2	Aplicaciones de las cenizas volantes en mejora de suelos .....	21
2.2.3	Cal viva: descripción y aplicabilidad en la estabilización de suelos.....	23
2.2.3.1	Propiedades químicas y físicas de la cal viva .....	26
2.2.3.2	Mecanismos de estabilización de suelos con cal viva.....	27
2.2.4	Sinergia entre cenizas volantes y cal viva en la estabilización de suelos.....	29
2.2.4.1	Investigaciones sobre la combinación de cenizas volantes y cal viva ..	31
2.2.4.2	Impacto de la combinación en las propiedades de la subrasante .....	33
2.2.5	Consideraciones ambientales y sostenibilidad en la construcción de carreteras .....	35
2.2.5.1	Impacto ambiental de la utilización de subproductos industriales .....	39
2.2.5.2	Contribuciones a la construcción sostenible .....	42
2.3	Marco conceptual.....	44
2.3.1.	CBR .....	44
2.3.2.	Cal viva .....	44
2.3.3.	Cenizas volantes.....	45
2.3.4.	Suelos.....	45

### CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Diseño de la investigación.....	46
3.2	Método de la investigación.....	46
3.3	Nivel y tipo de la investigación .....	47



3.3.1 Nivel de la investigación .....	47
3.3.2 Tipo de la investigación .....	47
3.4 Población y muestra de la investigación.....	48
3.4.1 Población.....	48
3.4.2 Muestra .....	49
3.5 Técnicas e instrumentos .....	49
3.5.1 Técnicas .....	49
3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación .....	50
3.6 Validación y confiabilidad del instrumento .....	51
3.6.1 Validación de los instrumentos .....	51
3.6.2 Confiabilidad de instrumentos.....	52
3.7 Plan de recolección y procesamiento de datos .....	52
3.7.1 Selección de calicatas .....	52
3.8 Procesamiento y análisis de datos .....	70

### CAPÍTULO IV

#### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación y análisis de resultados .....	72
4.1.1 Capacidad de soporte de la subrasante y afirmado de la vía.....	79
4.1.2 Influencia de la utilización de cenizas volantes sobre la capacidad de soporte	
81	
4.1.3 Influencia de la utilización de cal viva sobre la capacidad de soporte .....	87
4.1.4 Subrasante estabilizada y la consideración de los ejes equivalentes.....	92
4.2 Discusión de resultados .....	94
<b>CONCLUSIONES</b> .....	96
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	97
<b>REFERENCIAS</b> .....	98
<b>ANEXOS</b> .....	102



### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	7
<b>Tabla 2</b> Numero de ensayos realizados.....	49
<b>Tabla 3</b> Detalles sobre las calicatas .....	54
<b>Tabla 4</b> Humedad presentada en las muestras recabadas .....	73
<b>Tabla 5</b> Índice plástico de las muestras- naturales .....	75
<b>Tabla 7</b> Compactación y sus grados (subrasante) .....	76
<b>Tabla 7</b> Resultados de CBR de las calicatas .....	79
<b>Tabla 8</b> Resultados de CBR de las calicatas + 2.5% cenizas volantes .....	82
<b>Tabla 9</b> Resultados de CBR de las calicatas + 3.5% cenizas volantes .....	84
<b>Tabla 10</b> Resultados de CBR de las calicatas + 3% cal viva .....	87
<b>Tabla 11</b> Resultados de CBR de las calicatas + 4% cal viva .....	89



### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la vía..... 48

Figura 2 Localización de los puntos de exploración ..... 54

Figura 3 C-1..... 54

Figura 4 C-2..... 55

Figura 5 C-3..... 55

Figura 6 Humedad presente en las muestras ..... 73

Figura 7 Granulometría de la muestra 1..... 74

Figura 8 Granulometría de la muestra 2..... 74

Figura 9 Granulometría de la muestra 3..... 75

Figura 10 Comparativa de los limites alcanzados ..... 76

Figura 11 Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de la calicata  
1            77

Figura 12 Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de la calicata  
2 ..... 77

Figura 13 Relación existente entre la densidad y el porcentaje de humedad de la calicata  
3 ..... 78

Figura 14 Comparativa de las relaciones entre humedad y densidad de los suelos..... 78

Figura 15 Calicata número 1- CBR ..... 79

Figura 16 Calicata número 2 - CBR ..... 80

Figura 17 Calicata número 3 - CBR ..... 80

Figura 18 Comparativa de las CBR de la subrasante natural..... 81

Figura 19 Calicata número 1- CBR + ceniza volante 2.5%..... 82

Figura 20 Calicata número 2 – CBR + ceniza volante 2.5%..... 83

Figura 21 Calicata número 3 – CBR + ceniza volante en 2.5% ..... 83

Figura 22 Comparativa de las CBR de la subrasante natural + ceniza volante 2.5% ..... 84



Figura 23	Calicata número 1- CBR + ceniza volante 3.5%.....	85
Figura 24	Calicata número 2 – CBR + ceniza volante 3.5%.....	85
Figura 25	Calicata número 3 – CBR + ceniza volante en 3.5% .....	86
Figura 26	Comparativa de las CBR de la subrasante natural + ceniza volante 3.5% .....	86
Figura 27	Calicata número 1- CBR + cal viva 3% .....	87
Figura 28	Calicata número 2 – CBR + cal viva 3%.....	88
Figura 29	Calicata número 3 – CBR + cal viva en 3%.....	88
Figura 30	Comparativa de las CBR de la subrasante natural + cal viva 3% .....	89
Figura 31	Calicata número 1- CBR + cal viva 4% .....	90
Figura 32	Calicata número 2 – CBR + cal viva 4%.....	90
Figura 33	Calicata número 3 – CBR + cal viva en 4%.....	91
Figura 34	Comparativa de las CBR de la subrasante natural + cal viva 4% .....	91
Figura 35	Cuadro de ejes equivalentes y espesores (mtc).....	93



## RESUMEN

La presente investigación titulada "Influencia de cenizas volantes y cal viva sobre la capacidad de soporte de la subrasante para la optimización del espesor de afirmado en la carretera Arapa – Achaya 2024", Considerando sus valores predominantes en la zona de estudio de vía Arapa – Achaya, se obtuvo los siguientes resultados referentes a la capacidad de soporte de la vía establecida, la calicata número 1 tuvo un CBR al 100% de 5.67% y al 95% se calculó 5.38%, Los valores alcanzados de acuerdo a los estudios elaborados en el laboratorio con las muestras más la adición de cenizas volantes en porcentajes de 2.5% y 3.5%, el valor con mejor comportamiento fue el de 2.5%, obteniendo los siguientes resultados referentes a la capacidad de soporte de la vía establecida, la calicata número 1 tuvo un CBR al 100% de 12.72% y al 95% se calculó 12.08%, Seguidamente los valores alcanzados de acuerdo a los estudios de las muestras recolectadas con incorporación de cal viva en porcentajes de 3% y 4%, el valor con mejor comportamiento fue de 4%, obteniendo los siguientes resultados referentes a la capacidad de soporte de la vía establecida, la calicata número 1 tuvo un CBR al 100% de 14.31% y al 95% se calculó 12.13%, Los espesores de pavimento especificados en este Manual se determinarán utilizando cualquier proceso de diseño que satisfaga los requisitos del proyecto, por ende, el espesor calculado de acuerdo al CBR con mejor comportamiento dio como espesor para la capa de afirmado de 141.94mm.

**Palabras Clave:** Subrasante, Afirmado, Cal viva, Cenizas, CBR.



### ABSTRACT

The present research titled "influence of fly ash and quicklime on the support capacity of the subgrade for the optimization of the thickness of pavement on the Arapa – Achaya 2024 highway", The cost of carrying out study method; Furthermore, considering its predominant values in the study area of the Arapa – Achaya road, the following results were obtained regarding the support capacity of the established road, pit number 1 had a 100% CBR of 5.67% and 95%. 5.38% was calculated. The values achieved according to the studies carried out in the laboratory with the samples plus the addition of fly ash in percentages of 2.5% and 3.5%, the value with the best performance was 2.5%, obtaining the following results Regarding the support capacity of the established road, pit number 1 had a 100% CBR of 12.72% and 12.08% at 95%. Next, the values achieved according to the studies of the samples collected with the incorporation of lime live in percentages of 3% and 4%, the value with the best performance was 4%, obtaining the following results regarding the support capacity of the established road, pit number 1 had a 100% CBR of 14.31% and 95% was calculated 12.13%. The pavement thicknesses specified in this Manual will be determined using any design process that satisfies the project requirements, therefore, the thickness calculated according to the CBR with the best performance was used as the thickness for the pavement layer. 141.94mm.

**Keywords:** Subgrade, Asphalt, Quicklime, Ash, CBR.



## INTRODUCCIÓN

La construcción de infraestructura vial requiere una evaluación integral de los materiales utilizados, particularmente en las capas de subrasante, ya que este elemento es crucial para la estabilidad y longevidad de la carretera. La capacidad de carga de la subrasante dicta el desempeño estructural de la carretera bajo cargas de tráfico, afectando directamente el diseño del espesor de la capa de la carretera. El uso de agentes estabilizantes en suelos con características deficientes ha demostrado eficacia para mejorar sus cualidades mecánicas. Las cenizas volantes y la cal viva son adiciones importantes reconocidas por sus características reactivas que pueden mejorar la resistencia y el rendimiento del suelo.

Esta investigación busca evaluar el impacto de la incorporación de cenizas volantes y cal viva en la capacidad portante de la subrasante de la ruta Arapa – Achaya en la zona de Puno. El estudio tiene como objetivo aumentar el espesor de la capa de la carretera mejorando las propiedades mecánicas del suelo mediante la estabilización mediante aditivos. El uso de cenizas volantes y cal viva mejora la resistencia del suelo y constituye un enfoque sostenible al reutilizar los restos industriales en la construcción.

El estudio se centra en realizar experimentos de laboratorio para evaluar los cambios en las propiedades mecánicas del suelo tratado con cantidades variables de estos estabilizadores. Esto proporcionará información crítica sobre la capacidad de carga del suelo y su influencia en el diseño estructural de la carretera. Además, los hallazgos brindan ventajas tanto económicas como ambientales al disminuir la dependencia de los recursos tradicionales y fomentar el uso eficaz de los desechos industriales. Esto busca proporcionar una solución innovadora y sostenible para la mejora y el avance de la infraestructura vial regional.

.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Análisis de la situación problemática

A nivel mundial, existe un enfoque cada vez mayor en la utilización de materiales alternativos y subproductos industriales en la construcción de carreteras para mejorar la sostenibilidad en el campo de la ingeniería civil. Se ha llevado a cabo una investigación exhaustiva sobre la aplicación de cenizas volantes, un producto residual de la combustión del carbón en centrales eléctricas, y cal viva para mejorar las características estructurales de subrasantes y bases de carreteras. La adopción de esta tecnología no sólo facilita la reutilización de materiales desechados, sino que también mejora la capacidad del suelo para soportar el peso, disminuye la necesidad de recursos naturales y mitiga las consecuencias ambientales relacionadas con la extracción y el refinamiento de recursos frescos. (Millán Corrales, 2019)

Perú enfrenta dificultades constantes en la construcción y mantenimiento de su red vial, principalmente debido a la diversa geografía y condiciones climáticas del país. Es fundamental priorizar el estudio y la implementación de tecnologías que mejoren la eficiencia de los recursos y extiendan la durabilidad de las carreteras. La utilización de cenizas volantes y cal viva en la construcción de carreteras es muy reciente en comparación con países con un sector de construcción más sofisticado. Sin embargo, la



demanda de soluciones financiera y ambientalmente viables motiva la investigación en este campo, con el objetivo de personalizar las tecnologías existentes para adaptarlas a circunstancias y requisitos regionales particulares. (Encalada Oncihuay, 2020)

La carretera Arapa - Achaya, ubicada en la provincia de San Román de Puno, es una arteria de transporte vital que juega un papel importante en la economía local. La región enfrenta distintos desafíos relacionados con la durabilidad y la integridad estructural de su infraestructura vial como resultado de su topografía y sus duras condiciones ambientales. La utilización de cenizas volantes y cal viva para la estabilización de la subrasante proporciona un enfoque pragmático para mejorar la durabilidad y la vida útil de la carretera, disminuyendo así la necesidad de un mantenimiento frecuente y costoso. Esta tecnología ofrece la posibilidad de ahorrar costes y mejorar la sostenibilidad al disminuir el uso de materiales tradicionales y minimizar el impacto ambiental de las actividades de construcción. (Calderon Lopez, 2022)

## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es la influencia de cenizas volantes y cal viva sobre la capacidad de soporte de la subrasante para la optimización del espesor de afirmado en la carretera Arapa – Achaya 2024?

### 1.2.2 *Problemas específicos.*

1. ¿Cuál es la capacidad de soporte CBR del material de subrasante y el afirmado existente en la carretera Arapa – Achaya 2024?
2. ¿Cuál es la influencia de la aplicación de cenizas volantes en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024?

3. ¿Cuál es la influencia de la aplicación de cal viva en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024?
4. ¿Cuál es el espesor mejorado del afirmado con subrasante estabilizada y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Arapa – Achaya 2024?

### **1.3 Objetivos de la investigación.**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la influencia de cenizas volantes y cal viva sobre la capacidad de soporte de la subrasante para la optimización del espesor de afirmado en la carretera Arapa – Achaya 2024.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Determinar la capacidad de soporte CBR del material de subrasante y el afirmado existente en la carretera Arapa – Achaya 2024.
2. Analizar la influencia de la aplicación de cenizas volantes en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024.
3. Analizar la influencia de la aplicación de cal viva en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024.
4. Determinar el espesor mejorado del afirmado con subrasante estabilizada y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Arapa – Achaya 2024.

### **1.4 Justificación de la investigación**

#### **1.4.1 Justificación técnica**

Se sugiere una técnica novedosa para optimizar el espesor necesario del pavimento, mejorar la capacidad de carga del suelo y extender la vida útil de la carretera integrando cenizas volantes y cal viva en la subrasante. Estudios científicos han demostrado que el uso de cenizas volantes, un subproducto de la industria termoeléctrica,



junto con la cal viva, puede mejorar las propiedades estructurales de los suelos. Esto conduce a una susceptibilidad reducida al agua y a una resistencia mecánica mejorada, lo que es especialmente importante en zonas propensas a variaciones climáticas importantes. El objetivo de este estudio es emplear métodos ambientalmente amigables y económicamente eficientes en la construcción de infraestructura vial. Además, su objetivo es aumentar el conocimiento actual en ingeniería civil sobre la explotación efectiva de materiales reutilizables y subproductos industriales. Los resultados de este estudio construirán una base tecnológica sólida y confiable para futuras investigaciones en lugares que comparten características similares.

### **1.4.2 Justificación económica**

Estos subproductos industriales sirven como sustituto rentable de los materiales tradicionales. Se pueden lograr importantes ahorros de costos disminuyendo el uso de materiales tradicionales como el cemento y mejorando la naturaleza duradera y estable del suelo, minimizando así la necesidad de mantenimiento regular de las carreteras. Maximizando el espesor del pavimento, es posible ahorrar tanto los gastos originales de construcción como de mantenimiento, al tiempo que se prolonga la vida útil de la infraestructura. En consecuencia, hay un mayor rendimiento de la inversión en infraestructura vial.

### **1.4.3 Justificación social**

Al utilizar cenizas volantes y cal viva en el desarrollo de la carretera Arapa-Achaya, existe una gran posibilidad de mejorar en gran medida el bienestar socioeconómico de los residentes locales. Mejorar la capacidad de la subrasante para soportar cargas sustanciales es esencial para mejorar la longevidad y seguridad de la carretera, facilitando así la conectividad y la accesibilidad en toda la provincia de San Román. Esto promueve el movimiento efectivo de bienes y servicios, mejora las perspectivas laborales y la accesibilidad a servicios esenciales y potencialmente fomenta el crecimiento económico



local. Además, la aplicación de estas tecnologías puede mejorar la difusión del conocimiento y la adquisición de experiencia técnica dentro de la comunidad local.

#### **1.4.4 Justificación ambiental**

La utilización de cenizas volantes y cal viva en la ruta Arapa-Achaya es ambientalmente aceptable debido a su capacidad para mitigar la acumulación de basura y evitar el agotamiento de recursos naturales prístinos. El uso de cenizas volantes obtenidas de plantas termoeléctricas minimiza la necesidad de instalaciones de eliminación de residuos y reduce las emisiones de carbono relacionadas con la fabricación de nuevos materiales de construcción. Además, la aplicación de estas sustancias para mejorar la calidad del suelo puede ayudar a mitigar la erosión y la degradación causadas por las condiciones climáticas, promoviendo así un enfoque más sostenible de la gestión ambiental local. Esta técnica está en línea con los principios de la construcción sostenible y fomenta la implementación de un modelo de economía circular para la gestión de materiales.

### **1.5 Hipótesis de la investigación**

#### **1.5.1 Hipótesis general**

La influencia de cenizas volantes y cal viva será positiva sobre la capacidad de soporte de la subrasante y se optimizará el espesor del afirmado en la carretera Arapa – Achaya 2024.

#### **1.5.2 Hipótesis específicas.**

1. La capacidad de soporte CBR del material de subrasante y el afirmado existente en la carretera Arapa – Achaya 2024, estarán por debajo de las especificaciones mínimas de calidad.
2. La influencia de la aplicación de cenizas volantes en cantidades controladas mejorará la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024.



3. La influencia de la aplicación de cal viva en cantidades controladas incrementará la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024.
4. El espesor mejorado del afirmado con subrasante estabilizada y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Arapa – Achaya 2024, estará por debajo de lo recomendado lo que indica que cumple con el espesor de afirmados.

## 1.6 Variables e indicadores

### 1.6.1 Variable independiente

Cenizas volantes y cal viva

#### Dimensiones:

Dosificación en cantidades controladas

#### Indicadores:

- Dosificación de cenizas volantes
- Dosificación de cal viva

### 1.6.2 Variable dependiente

Propiedades del suelo subrasante

#### Dimensiones:

- Capacidad de soporte (CBR) de subrasante
- Capacidad de soporte de afirmado
- Espesor del afirmado

#### Indicadores:

- Índice medio diario anual (IMDA)
- Capacidad de soporte (CBR)
- Espesor en cm.

## 1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
<b>CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA</b>	Las cenizas volantes son el término utilizado para describir las partículas pequeñas y en polvo que se producen como producto secundario durante la combustión del carbón en las centrales térmicas.	Dosificaciones de los materiales a emplearse sobre la subrasante.	Dosificación de materiales.	Herramientas proporcionadas por el laboratorio de suelos
Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
<b>CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO SUBRASANTE</b>	La capacidad de carga del suelo de subrasante es la capacidad del suelo para resistir y distribuir las cargas aplicadas por los vehículos o estructuras que soporta, debajo de los niveles del pavimento.	Capacidades de la subrasante	CBR	<ul style="list-style-type: none"><li>Equipos y herramientas de laboratorio</li><li>Fichas de control</li></ul>
<b>ESPESOR DEL AFIRMADO</b>	Los suelos de subrasantes, es la capa más profunda de una estructura proyectada de vía, en el que la mayoría de veces esta.	Capacidad de soporte. Índice medio diario anual	CBR. IMDA.	

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Para, Joshi & Patel, (2023) en su trabajo titulado "Cenizas volantes mezcladas con cal y GGBFS como material de subbase sostenible: evaluación de resistencia, durabilidad y microestructura", El objetivo era evaluar su idoneidad para su uso como material de subbase en la construcción de carreteras flexibles. Se llevó a cabo una investigación para comparar el rendimiento de un material compuesto hecho de cenizas volantes, cal y GGBFS expuesto a ciclos alternos de humectación y secado. Posteriormente, se evaluó el rendimiento de este material compuesto en comparación con mezclas compuestas únicamente de cenizas volantes y cal, así como mezclas de cenizas volantes y GGBFS. Las probetas elaboradas con mezclas que contenían cenizas volantes se sometieron a ciclos alternos de humectación y secado. Para evaluar la durabilidad, se realizaron una serie de pruebas, que incluyeron evaluaciones de resistencia a la compresión, niveles de pH y velocidad del pulso ultrasónico. Se realizaron pruebas triaxiales de carga repetitiva para examinar las características de deformación que surgen durante la carga cíclica y evaluar el módulo resistente. La creación de productos cementosos y los cambios en la microestructura de las mezclas de cenizas volantes se validaron mediante análisis termogravimétrico, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier y datos de



microscopía electrónica de barrido. Después de ser sometida a ciclos repetidos de humectación y secado, la mezcla de cenizas volantes, cal y GGBFS exhibió una resistencia de 8,65 MPa después de un período de curado de 7 días, junto con una reducción de peso del 5,37 %. Los hallazgos validan la idoneidad de utilizar una mezcla de cenizas volantes, cal y GGBFS como material de subbase, de acuerdo con los requisitos de resistencia y durabilidad especificados por las pautas establecidas.

Seguidamente, Jia et al., (2024) En este trabajo se investiga "Optimización de mezclas y evaluación de propiedades mecánicas de loess estabilizado con cal y cenizas volantes en diversas aplicaciones de ingeniería" Este estudio tuvo como objetivo mejorar la utilización de arena y marga poco fina (LFSL) en varios aspectos de la infraestructura del pavimento, como la estructura del pavimento, la subrasante, los taludes y los cimientos. Para ello se llevaron a cabo una serie de estudios sobre LFSL y loess estabilizado con cal (LSL). Las pruebas incluyeron pruebas de resistencia a la compresión no confinada (UCS), relación de carga de California (CBR), módulos resilientes (MR), resistencia triaxial y consolidación uniaxial. Las proporciones ideales de mezcla se establecen evaluando los resultados de la prueba de consumo inicial de cal (ICL) y sus factores asociados. Una mezcla que contiene 2% de cal y 11,82% de cenizas volantes satisface los criterios de resistencia para base de carretera, mientras que una mezcla que consta de 2% de cal y 3,95% de cenizas volantes es apropiada para subbase. Una mezcla compuesta por un 2 % de cal y un 3,84 % de cenizas volantes es adecuada para la construcción de cimientos y subrasantes. Sin embargo, en el contexto de pendientes, una mezcla de 2% de cal y 3,55% de cenizas volantes produce una mejora similar a una mezcla con 8% de cal. Se desarrollaron modelos integrales de tres factores de forma eficaz y se conectaron con precisión con los resultados experimentales del LFSL con un contenido de cal del 2 %. Además, establecer relaciones entre la resistencia a la compresión ilimitada (UCS) y otros parámetros mecánicos ofrece un enfoque directo para evaluar las cualidades de ingeniería. En conclusión, mediante un estudio exhaustivo de la literatura sobre LSL, se propuso un

enfoque novedoso para evaluar la calidad de la ingeniería específicamente para LFSL con un contenido de cal del 2%. Este método mejora la flexibilidad y eficacia de los modelos de estimación.

### **2.1.2 Antecedente nacional**

Finalmente, Bardales Arévalo, (2020) nos dice que el presente estudio "Aplicación de ceniza volante y cal para el mejoramiento de la sub rasante en la carretera Caclic-Luya- Amazonas 2020" El objetivo fue evaluar el impacto del uso de cenizas volantes y cal para mejorar la subrasante de la ruta Caclic-Luya-Amazonas 2020. Este estudio empleó el enfoque cuasiexperimental, que es un tipo de investigación aplicada. El estudio utilizó una metodología explicativa y cuantitativa, que implicó explorar explicaciones y emplear datos numéricos para el análisis. Los resultados indican una reducción significativa del índice de plasticidad con la adición de un 2% de cenizas volantes. Sin embargo, la disminución del índice de plasticidad debido a la adición de cal sólo se observa cuando se añade un 5% de cal. Cuando se emplearon ambos estabilizadores, la prueba Proctor modificada mostró un aumento constante en el nivel óptimo de humedad. Las cenizas volantes exhibieron el crecimiento más significativo, alcanzando un sustancial 11,9%. Además, a medida que disminuyó el contenido de humedad, hubo un aumento en la densidad seca máxima. Luego de la incorporación de un 5% de cal, la resistencia del ensayo CBR tuvo un aumento sustancial, pasando de 9,9% a 25,6%. Además, la incorporación de cenizas volantes resultó en una elevación sustancial en la medición del CBR (California Bearing Ratio), elevándolo del 8% al 30%. Finalmente, se demostró que tanto la cal como las cenizas volantes ejercen un impacto beneficioso sobre las características de la subrasante. Además, se ha demostrado que la capacidad de carga mejora constantemente cuando se utilizan cenizas volantes.



### 2.1.3 Antecedente de ámbito local

Para, Maquera & Aquino, (2021), su investigación titulada "Estabilización de suelos arcillosos en caminos vecinales, modificado con cal y ceniza volante, carretera Acora – Jayujayu, Acora, Puno – 2021" Este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la cal y las cenizas volantes en la estabilidad de los suelos arcillosos a lo largo de la ruta Acora-Jayujayu, específicamente en relación con la infraestructura vial local. El estudio realizado fue una investigación cuasiexperimental, centrándose particularmente en enfoques cuantitativos y aplicados. El estudio se dirigió específicamente a la población de suelos arcillosos que se encuentran a lo largo de la ruta del barrio Acora - Jayujayu. El estudio empleó un tramo de 2,1 kilómetros de la carretera, concretamente desde el Km17+600 hasta el Km19+600. El enfoque de muestreo utilizado fue no probabilístico. Los principales hallazgos para el suelo no perturbado son los siguientes: resistencia al corte libre de 1,85 kg/cm<sup>2</sup>, peso unitario seco de 18,55 kN/m<sup>3</sup>, 100% CBR (California Bearing Ratio) MDS (densidad seca máxima) del 28%, límite de contracción de 29%, contenido de humedad ideal de 11,55% e Índice Plástico de 15,56%. El resultado óptimo se logró utilizando una mezcla compuesta por 5% de cemento y 16% de carbonato de calcio, según se determinó volumétricamente. Las propiedades del material son las siguientes: una resistencia al corte ilimitado de 9,11 kg/cm<sup>2</sup>, un peso unitario seco de 19,30 kN/m<sup>3</sup>, un 100% CBR MDS (California Bearing Ratio Modified Proctor Density Standard) del 87%, un límite de contracción de 8%, un contenido de humedad ideal de 14,90% y un índice plástico de 5,14%. Existe un amplio consenso en que el uso de cal y cenizas volantes en proporciones variables mejora las características físicas y mecánicas de los edificios confirmados. La dosis más eficaz fue la dosis óptima, compuesta por 5% de C y 16% de CV.

Finalmente para, Hanco Chambi, (2021), su investigación titulada "Estabilización de suelos cohesivos con cal y cemento para mejorar la subrasante de la avenida Santa Rosa, Puno, 2021" La tesis de estudio, titulada "Mejoramiento del subrasante de la Avenida



Santa Rosa en Puno, 2021, mediante la aplicación de cal y cemento para estabilización de suelos cohesivos”, busca potenciar las características físicas y mecánicas del suelo mediante la introducción de agentes estabilizantes como cal y cemento. . El objetivo principal fue disminuir la flexibilidad del suelo (IP) y mejorar su capacidad de carga (CBR) para aprovechar la subrasante de la Avenida Santa Rosa. Se trataba de transformar una base insuficiente en una adecuada. El estudio empleó una metodología de diseño experimental y adquirió los hallazgos a través de pruebas de laboratorio de suelos. Se encontró que el índice de plasticidad excedía el 18%, el CBR se evaluó en 1,6% con una densidad seca máxima de 1,55 g/cm<sup>3</sup> y el contenido de humedad óptimo promedio se midió en 22,49%. Este suelo fue clasificado como suelo limoso con un nivel significativo de maleabilidad. Sin embargo, el uso de cal y cemento en proporciones de 1%, 2% y 3% provocó cambios significativos en el CBR. La incorporación de una cantidad mínima de cal y cemento dio como resultado una mejora del California Bearing Ratio (CBR) al 11,1%. Sin embargo, esto provocó una disminución del 1% en el índice de plasticidad inicial. Por lo tanto, se puede deducir que mayores cantidades de cal y cemento mejoran la capacidad del suelo para resistir CBR (California Bearing Ratio) al tiempo que reducen su flexibilidad.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Subrasante: fundamentos y relevancia en la construcción de carreteras

Una subrasante se refiere a la capa de suelo natural que sirve como base para la construcción de las capas estructurales de una carretera. Los cimientos son esenciales para la construcción de carreteras, ya que brindan soporte y desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la estabilidad y longevidad de la carretera. El desempeño del camino está directamente influenciado por la calidad y características de la subrasante. Cualquier imperfección o insuficiencia en esta capa puede provocar distorsiones, hundimientos y fallas tempranas en la superficie de rodadura. (Hernández Camacho, 2021)

Técnicamente, la subrasante debe poder soportar el peso y soportar las presiones inducidas por el tráfico y las condiciones climáticas. La evaluación de la capacidad de carga se realiza mediante pruebas de laboratorio y de campo, que determinan propiedades como la resistencia a la compresión, la densidad, el contenido de humedad ideal y el índice de carga de California (CBR). Estas pruebas facilitan el diseño meticuloso de las capas superiores de la carretera, incluidas la subbase y la base, para garantizar una distribución eficiente del peso en toda la estructura. (Hernández Camacho, 2021)

La subrasante es un componente vital en la construcción de carreteras, ya que tiene un impacto directo en la longevidad y el mantenimiento de la carretera. Al garantizar que la subrasante esté correctamente preparada y compactada, los gastos de mantenimiento futuros se pueden reducir considerablemente, ya que previene problemas relacionados con el asentamiento y la distorsión. Por el contrario, una base deficiente puede dar lugar a mantenimiento y reparaciones frecuentes, lo que genera mayores gastos y compromete la seguridad y la comodidad de los usuarios de la vía.

La preparación de la subrasante en la construcción implica eliminar obstáculos, distribuir uniformemente el suelo existente y compactarlo para aumentar su densidad. En ocasiones, es fundamental mejorar la subrasante empleando agentes estabilizantes como cal, cemento o geotextiles. Esto se hace para aumentar su capacidad de carga y disminuir su vulnerabilidad a la humedad. Los procedimientos de estabilización son necesarios para suelos problemáticos, como suelos expansivos o muy blandos, que carecen de estabilidad suficiente para servir por sí solos como una base adecuada.

En resumen, la subrasante es un elemento esencial en la construcción de carreteras y cumple una función crucial a la hora de establecer una base segura y duradera para la carretera. Para mantener la capacidad de la carretera para gestionar el tráfico de vehículos y resistir las condiciones ambientales, es fundamental realizar una evaluación exhaustiva, desarrollar un plan estratégico y realizar las mejoras necesarias si es

necesario. Este enfoque ayuda a reducir los gastos de mantenimiento y mejorar la seguridad y eficacia del transporte.

### 2.2.1.1 Definición y funciones de la subrasante

La subrasante es el estrato fundacional de suelo nativo que proporciona estabilidad a las diversas capas estructurales de una carretera, incluida la subbase, la base y la capa de rodadura. La capa base es la base esencial para la construcción de carreteras, y su calidad y cualidades tienen una influencia sustancial en el rendimiento y la durabilidad de la carretera. El camino se extiende desde el nivel del suelo actual hasta una profundidad predeterminada establecida durante la etapa de planificación del camino. Las pruebas geotécnicas se emplean para evaluar la calidad de la subrasante examinando sus características físicas y mecánicas, incluida la capacidad de carga, la densidad, la compacidad, el contenido de humedad y la plasticidad. (Arriaga & Palomino, 2020)

El propósito principal de la subrasante es ofrecer refuerzo estructural a las capas de la carretera que se encuentran encima de ella. La estructura debe tener la capacidad de soportar las fuerzas transmitidas desde la superficie de rodadura a través de la base y subbase sin sufrir deformaciones sustanciales. La evaluación de la capacidad portante del suelo se realiza mediante metodologías como el California Bearing Index (CBR), que cuantifica la resistencia del suelo a la penetración.

La subrasante es esencial para distribuir uniformemente la carga. Una subrasante adecuada distribuye eficientemente la carga del tráfico de manera uniforme entre las capas de suelo subyacentes, reduciendo así la tensión en los niveles superiores y disminuyendo la probabilidad de degradación estructural. Es primordial garantizar la durabilidad y eficacia a largo plazo de la carretera.

La estabilidad y durabilidad del camino dependen principalmente de la uniformidad y densidad de la subrasante. Una subrasante adecuadamente compactada minimiza el asentamiento irregular y mejora la durabilidad de la carretera, lo que da como resultado

una superficie más lisa y duradera. Es de suma importancia garantizar la prevención de deformaciones y daños a la infraestructura vial.

La subrasante juega una función crucial en el control de los niveles de humedad. La subrasante debe gestionar eficazmente la infiltración y el drenaje del agua para evitar la saturación del suelo, lo que puede socavar su capacidad para soportar cargas y provocar fallas estructurales. Los sistemas de drenaje y técnicas de estabilización se utilizan con frecuencia para regular los niveles de humedad, asegurando así el funcionamiento eficiente y la longevidad de la carretera.

La subrasante tiene un papel vital para minimizar el asentamiento. El asentamiento de los cimientos puede dar lugar a la formación de una superficie de carretera irregular, lo que puede tener un impacto negativo en la seguridad y comodidad de las personas que utilizan la carretera. Consolidar y mejorar a fondo la subrasante es crucial para reducir los asentamientos y garantizar una carretera estable y duradera.

### **2.2.1.2 Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante**

La subrasante es la capa natural de suelo que ofrece soporte a los diversos niveles estructurales de una carretera, capacidad portante, densidad, compacidad, contenido de humedad y plasticidad. (Villamil et al., 2020)

#### **La subrasante cumple varias funciones**

La función principal de la subrasante es brindar soporte estructural a las capas de la vía que se ubican sobre ella. La estructura debe tener la capacidad de soportar los esfuerzos transmitidos desde la superficie de rodadura a la base y subbase sin sufrir deformaciones importantes. La evaluación de su capacidad portante se realiza mediante métodos como el California Bearing Index (CBR), que mide la resistencia del suelo a la penetración. (Hanco Chambi, 2021)

La subrasante juega un papel crucial en la distribución de cargas. Una subrasante óptima dispersa eficazmente la carga del tráfico a lo largo de las capas de suelo subyacentes, reduciendo así la tensión en los niveles superiores y previniendo un posible deterioro estructural. Garantizar la durabilidad y eficacia a largo plazo de la carretera es de suma importancia.

La estabilidad y durabilidad del camino dependen en gran medida de la uniformidad y compactación de la subrasante. La compactación eficiente de la subrasante reduce el asentamiento desigual y mejora la resiliencia de la carretera, lo que da como resultado una superficie de carretera más suave y duradera que dura más. Es fundamental evitar cualquier distorsión o daño a la infraestructura viaria.

La subrasante tiene una función vital en el control de los niveles de humedad. La subrasante debe controlar eficientemente la infiltración y el drenaje del agua para evitar la saturación del suelo, lo que puede reducir su capacidad para soportar peso y provocar fallas estructurales. Con frecuencia se emplean sistemas de drenaje y tecnologías estabilizadoras para controlar los niveles de humedad y garantizar la eficiencia y longevidad de la carretera.

Consolidar y mejorar adecuadamente la subrasante es esencial para minimizar los asentamientos y garantizar una carretera duradera y segura.

### **2.2.1.3 Métodos de evaluación de la capacidad de soporte**

Se utilizan diversos enfoques y procedimientos geotécnicos para recopilar datos precisos sobre sus propiedades mecánicas y físicas. A continuación, se ofrece una explicación detallada de los principales métodos utilizados para evaluar la capacidad de carga del suelo. (Castillo Cortez & Manrique Anticona, 2023)

La Prueba de Penetración Estándar (SPT) es un método utilizado para medir la resistencia del suelo a la penetración. Esto se logra empleando un muestreador de dimensiones uniformes, impulsado por un peso de magnitud uniforme y liberado desde una elevación uniforme.



La prueba de penetración estándar (SPT) es un método comúnmente empleado para evaluar la capacidad del suelo para soportar cargas. El proceso implica realizar la prueba al aire libre, donde un tubo de muestreo estandarizado se introduce en el suelo y se expone a golpes de un martillo con un peso preciso. La evaluación de la resistencia del suelo implica medir la cantidad de impactos necesarios para que la tubería penetre una profundidad determinada en el suelo. Los resultados de la Prueba de Penetración Estándar (SPT) proporcionan información crucial sobre la densidad y resistencia del suelo, permitiendo estimar su capacidad para soportar cargas y su nivel de compactación.

### Índice de apoyo de California (CBR)

El índice de carga de California (CBR) es una prueba realizada en circunstancias controladas de laboratorio y escenarios de campo del mundo real para evaluar con precisión la capacidad de carga de los suelos y materiales granulares utilizados en la construcción de pavimentos. Este experimento consiste en la introducción de una muestra de suelo mediante un pistón estandarizado, regulando meticulosamente las condiciones de humedad y densidad. La evaluación de la resistencia a la penetración implica comparar su valor con el de un material de referencia, concretamente piedra caliza triturada, y expresar el resultado en porcentaje. Los valores CBR se emplean en el diseño de estructuras de capas de pavimento para asegurar su capacidad para soportar cargas de tráfico sin encontrar fallas tempranas.

### Realización de una evaluación de la capacidad de carga en una placa.

Las pruebas de carga con placas son evaluaciones in situ que analizan la capacidad de carga del suelo aplicando una fuerza sobre una placa de acero colocada sobre la superficie del suelo. Se mide la deformación del suelo debajo de la placa mientras se aumenta gradualmente la carga. Estas pruebas proporcionan datos precisos sobre la capacidad de carga y la rigidez del suelo en el sitio de construcción. Las pruebas de carga con placas son bastante útiles para evaluar las propiedades de suelos tanto cohesivos como no cohesivos. Se utilizan frecuentemente en la construcción de cimientos y pavimentos poco profundos.

La prueba triaxial es una técnica empírica empleada para examinar las características mecánicas de materiales bajo diferentes condiciones de tensión.

Las pruebas triaxiales se realizan en un ambiente de laboratorio controlado para evaluar las propiedades mecánicas del suelo bajo ciertas condiciones de carga. Durante estos estudios, se inserta una muestra de suelo cilíndrica en una cámara triaxial y se la somete a presiones axiales y de confinamiento.

### **2.2.2 Cenizas volantes: caracterización y usos en ingeniería civil**

#### **Propiedades de la materia relativas a sus atributos físicos y químicos**

Las cenizas volantes se distinguen por su morfología globular y sus diminutas dimensiones de partículas, que normalmente varían de 1 a 100 micrómetros de diámetro. La incorporación de este componente a las mezclas de hormigón se ve facilitada por su forma esférica, que mejora su movilidad. Las normas ASTM C618 clasifican las cenizas volantes en dos categorías principales según su composición química: Clase F y Clase C. Las cenizas volantes de clase F, derivadas principalmente de carbones bituminosos y antracíticos, exhiben una concentración reducida de calcio. Posee características puzolánicas, lo que significa que puede reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio en presencia de agua, dando lugar a la creación de compuestos cementosos. Por otro lado, las cenizas volantes clase C, que provienen del lignito o carbón subbituminoso, tienen mayor cantidad de calcio y presentan propiedades tanto de materiales puzolánicos como cementosos.

#### **Utilizaciones de la ingeniería civil**

Las cenizas volantes se utilizan ampliamente en ingeniería civil debido a sus propiedades beneficiosas. Un uso crucial de este producto químico es como sustancia complementaria para el hormigón. Al reemplazar una parte del cemento Portland con cenizas volantes, se mejora la fluidez de la mezcla, se reduce la reacción de liberación de calor y se aumenta la durabilidad del hormigón. Además, las cenizas volantes mejoran la durabilidad a largo plazo del hormigón al generar más materiales cementosos mediante procesos puzolánicos. (Carrasco Lozano, 2022)

Las cenizas volantes son cruciales para la estabilización del suelo. La incorporación de suelos cohesivos a una combinación puede mejorar. (Barrientos-Monsalve, 2020)

Además, las cenizas volantes se utilizan en la fabricación de ladrillos y bloques de construcción. Los productos fabricados con cenizas volantes demuestran propiedades de aislamiento térmico excepcionales y son considerablemente más ligeros que los materiales de construcción tradicionales. Además, la inclusión de cenizas volantes en estos productos mejora la sostenibilidad ambiental al reducir la necesidad de recursos adicionales y disminuir los desechos industriales.

### 2.2.2.1 Origen y propiedades de las cenizas volantes

Durante el proceso de quemar carbón para generar energía, los minerales del carbón no se convierten totalmente en gas, sino que se transforman en partículas muy pequeñas que son transportadas por los gases de escape de la combustión. La recolección de estas partículas se logra mediante el uso de precipitadores electrostáticos o filtros de tela antes de emitir los gases y las condiciones durante la combustión. (Quispe Muñoz, 2023)

Las cenizas volantes exhiben una morfología esférica distintiva y poseen un tamaño de partícula calibrado con precisión, que abarca de 1 a 100 micrómetros de diámetro. La forma esférica del material facilita su manipulación en mezclas de hormigón y mejora la compactación en suelos estabilizados. Las partículas tienen una textura suave y el color del residuo puede variar de gris claro a gris oscuro, dependiendo de la cantidad de carbón que quede. Las cenizas volantes tienen una densidad menor que el cemento Portland, lo que resulta en una reducción sustancial del peso de los componentes de construcción cuando se utiliza.

#### Propiedades químicas

Las cenizas volantes comprenden principalmente dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), además de trazas de



otros metales como magnesio, potasio y sodio. La norma ASTM C618 clasifica las cenizas volantes en dos clasificaciones principales: Clase F y Clase C. Las cenizas volantes de clase F se producen principalmente a partir de la quema de carbones bituminosos y antracíticos, lo que da como resultado una baja concentración de calcio. Las cenizas poseen predominantemente propiedades puzolánicas, lo que significa su capacidad. Por otro lado, las cenizas volantes Clase C se derivan de carbones subbituminosos o lignitos y tienen una mayor cantidad de calcio. Por lo tanto, las cenizas volantes demuestran tanto la capacidad de reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos cementosos como la capacidad de contribuir a la resistencia y durabilidad del hormigón como puzolana. (Olortegui Guadalupe, 2022)

### **Los atributos puzolánicos**

Las cenizas volantes son muy conocidas por sus capacidades puzolánicas. Las cenizas volantes reaccionan químicamente con el agua y el hidróxido de calcio durante la hidratación del cemento. La reacción da como resultado la formación de silicatos y aluminatos de calcio, que son compuestos químicos que contribuyen a las propiedades similares al cemento. La reacción puzolánica mejora la compacidad y longevidad del hormigón al disminuir su porosidad y aumentar su resistencia a la infiltración de sustancias corrosivas, como sulfatos y cloruros. Además, la reacción puzolánica disminuye la cantidad de hidróxido de calcio libre en el hormigón, disminuyendo así la probabilidad de desarrollo de eflorescencias y mejorando la resistencia a los ataques químicos.

### **Las propiedades mecánicas**

Las mezclas de hormigón mejoran su trabajabilidad y cohesión, facilitando el proceso de colocación y acabado del hormigón. Además, incluir cenizas volantes en el hormigón tiene la capacidad de mejorar su resiliencia a largo plazo al promover la creación de compuestos cementosos adicionales a través de la reacción puzolánica. El aumento de

la resiliencia se vuelve particularmente evidente en las últimas etapas de la vida útil del concreto, superando el período de curado típico de 28 días.

Las cenizas volantes son una sustancia residual que se produce como resultado de la quema de carbón en las centrales termoeléctricas. Tiene características distintivas que lo hacen valioso en muchos proyectos de ingeniería civil. Se forman cenizas y su composición varía según el tipo de carbón y las condiciones de combustión, dando lugar a la producción de diferentes tipos de cenizas con características distintas. Las propiedades puzolánicas y mecánicas inherentes de las cenizas volantes son cruciales para mejorar la calidad y la naturaleza duradera del hormigón y otros materiales de construcción. Además, abogan por la adopción de prácticas ecológicamente sostenibles mediante la reutilización de un resultado industrial.

#### **2.2.2.2 Aplicaciones de las cenizas volantes en mejora de suelos**

Las cenizas volantes, una sustancia residual producida a partir de la incineración de carbón en centrales termoeléctricas, se utilizan ampliamente en el campo de la ingeniería civil para mejorar la calidad del suelo. El principal factor detrás de esto son sus propiedades puzolánicas, que le permiten mejorar las propiedades geotécnicas de los suelos. Las principales aplicaciones de las cenizas volantes para mejorar la calidad del suelo son las siguientes: (Gutiérrez Pariona & Parco Ramírez, 2022)

##### **Capacidad mejorada para brindar soporte**

Un uso importante de las cenizas volantes para mejorar la calidad del suelo es su capacidad para aumentar la resistencia al soporte. La incorporación de cenizas volantes en suelos cohesivos y no cohesivos puede mejorar en gran medida su resistencia y rigidez. La mayor capacidad para ofrecer asistencia es el resultado de las reacciones químicas que ocurren entre las cenizas volantes y los minerales del suelo, lo que lleva a la formación de compuestos cementosos que mejoran la cohesión y compactación del suelo. Este método es particularmente ventajoso en suelos arcillosos, que a menudo tienen una capacidad

restringida para soportar peso y una notable tendencia a deformarse. (Guevara Tuesta, 2022)

### **Estrategias para reducir el impacto de la expansión del suelo**

Las arcillas y otros suelos expansivos plantean desafíos importantes porque tienden a expandirse y contraerse en respuesta a las fluctuaciones en los niveles de humedad. Esto puede provocar un perjuicio sustancial a los pavimentos y estructuras, provocando potencialmente un deterioro estructural. Las cenizas volantes se emplean para estabilizar estos suelos, mitigando su propensión a sufrir expansión. Al integrar las cenizas volantes en suelos expansivos, su capacidad de absorción de agua disminuye, disminuyendo así su propensión a expandirse. Esto se logra mediante la presencia de reacciones puzolánicas. Garantizar la estabilidad de las estructuras construidas sobre suelos en expansión es de suma importancia. (Gamez Condori & Vargas Condori, 2023)

### **Capacidad de drenaje mejorada**

Otro uso importante de las cenizas volantes para mejorar la calidad del suelo es su capacidad para aumentar el drenaje. Los suelos tratados con cenizas volantes generalmente presentan una permeabilidad mejorada y una mayor capacidad de drenaje, que son cruciales para mitigar el anegamiento y los problemas relacionados con la saturación del suelo. La capacidad mejorada para eliminar agua es especialmente ventajosa en la construcción de carreteras y aeropuertos, donde la gestión eficaz del agua es crucial para garantizar la durabilidad y el rendimiento óptimo de la infraestructura. Además, mejorar la capacidad de la superficie para ayudar al drenaje del agua es vital para mitigar los problemas de erosión y preservar la estabilidad de pendientes y áreas elevadas. (Laura Hanco, 2022)

### **Mejora de la rigidez y mejora de la percepción táctil**

Las cenizas volantes se utilizan para disminuir la maleabilidad de los suelos y mejorar su adhesión. La inclusión de cenizas volantes altera las propiedades granulométricas del suelo, aumentando la cantidad de partículas diminutas y mejorando la cohesión y trabajabilidad de la sustancia. La alteración en la textura del suelo y la

disminución de la viscosidad mejoran los procesos constructivos, como la compactación y el manejo del suelo, mejorando así la eficiencia y calidad del trabajo. (Torres Muñoz, 2021)

### **Las aplicaciones en rellenos y terraplenes**

Las cenizas volantes se utilizan en la construcción de vertederos y terraplenes para mejorar las características mecánicas del suelo, en particular su resistencia al corte y su estabilidad. La combinación de suelos nativos con cenizas volantes ofrece un método rentable y eficiente para construir terraplenes que tengan una gran capacidad de carga y resistencia a la deformación. Además, la inclusión de cenizas volantes en estas aplicaciones mejora la sostenibilidad al reciclar un subproducto industrial y disminuir la necesidad de recursos crudos. (Torres Muñoz, 2021)

En general, las cenizas volantes proporcionan soluciones eficientes para mejorar la calidad del suelo en muchas aplicaciones de ingeniería civil. Desempeñan un papel crucial en proyectos de construcción, ya que pueden mejorar la capacidad de carga, estabilizar suelos expansivos, optimizar el drenaje, reducir la flexibilidad y mejorar la textura del suelo. La utilización de cenizas volantes mejora las características geotécnicas del suelo y fomenta prácticas sostenibles mediante la reutilización de un subproducto industrial, facilitando así una construcción más eficaz y ecológica.

#### **2.2.3 Cal viva: descripción y aplicabilidad en la estabilización de suelos**

La cal viva, también conocida como óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), es un compuesto muy alcalino que se forma al someter la piedra caliza (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ) a temperaturas elevadas. La calcinación es un proceso químico que elimina el dióxido de carbono, lo que lleva a la creación de óxido de calcio. La cal viva es un material pulverulento que puede exhibir un espectro de colores que va desde acromático hasta ceniciento. Exhibe un notable grado de sensibilidad y una fuerte afinidad por el agua. Al entrar en contacto con el agua, sufre una reacción vigorosa y produce hidróxido de calcio, comúnmente conocido como cal apagada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). La fuerte reactividad de la sustancia

es beneficiosa en diversas aplicaciones industriales, como la mejora de la estabilidad del suelo. (Yunga Silva, 2023)

### **Propiedades de la cal viva**

La cal viva presenta varias características que la hacen extremadamente pertinente en los ámbitos de la ingeniería civil y la estabilización de suelos. La alta alcalinidad de la sustancia le permite neutralizar eficazmente los ácidos y mejorar las características de los suelos problemáticos. Cuando entra en contacto con el agua, realiza una reacción exotérmica, lo que conduce a la generación de una cantidad importante de calor. Las altas temperaturas pueden hacer que los suelos húmedos se sequen, provocando la pérdida de humedad. Además, la cal viva presenta propiedades cementosas y puzolánicas que mejoran la cohesividad y longevidad de los suelos cuando se mezclan con ellas. (Cruzado Medina, 2019)

### **Importancia de la estabilización del suelo**

La cal viva se utiliza con frecuencia para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo mediante un proceso conocido como estabilización del suelo. Esta técnica implica la incorporación de cal viva al suelo, seguida de una mezcla y compactación minuciosas. La cal viva posee la capacidad de estabilizar suelos que exhiben propiedades tanto cohesivas como no cohesivas. Es especialmente beneficioso en suelos arcillosos, que frecuentemente presentan una flexibilidad significativa y una capacidad limitada para soportar peso. (Cruzado Medina, 2019)

### **Capacidad mejorada para ofrecer asistencia**

La adición de cal viva al suelo mejora significativamente su capacidad de carga. Cuando la cal viva se mezcla con agua y minerales del suelo, se forman compuestos cementosos como silicatos y aluminatos de calcio. Estas sustancias mejoran la capacidad del suelo para unirse y endurecerse. En consecuencia, los cimientos ganan mayor resistencia y durabilidad, lo que los hace adecuados para la construcción de carreteras,



cimientos y otras estructuras. La capacidad de carga mejorada permite el desarrollo en suelos que antes se consideraban inadecuados.

### **Reducción de la adaptabilidad**

La cal viva es una sustancia muy eficaz para reducir la plasticidad de los suelos arcillosos. La reacción química entre la cal y las arcillas reduce la plasticidad del suelo y su capacidad para sufrir cambios volumétricos en respuesta a las fluctuaciones en los niveles de humedad. Para evitar daños a pavimentos y estructuras causados por la expansión y contracción del suelo, es crucial reducir la plasticidad.

### **Capacidad de drenaje mejorada**

La cal viva mejora la capacidad del suelo para permitir el paso de líquidos o gases. La cal viva mejora el drenaje del agua al deshidratar los suelos húmedos y aumentar su permeabilidad, reduciendo efectivamente la saturación del suelo y minimizando problemas como la erosión y la inestabilidad de las pendientes. La capacidad de drenaje mejorada es particularmente beneficiosa en proyectos de infraestructura como carreteras y aeropuertos, donde la gestión eficaz del agua es vital para el funcionamiento sostenible y eficiente de la infraestructura.

El tratamiento del suelo es un método utilizado para remediar suelos contaminados.

La cal viva posee la capacidad de estabilizar suelos contaminados al contrarrestar compuestos ácidos e inhibir el movimiento o descarga de metales tóxicos. La alta alcalinidad de la cal viva neutraliza la acidez del suelo y forma compuestos insolubles con los metales pesados, limitando así su movilidad y absorción por los organismos vivos. Esto es particularmente beneficioso en entornos industriales y regiones afectadas por derrames químicos.

La cal viva es un potente material para la estabilización de suelos debido a su reactividad y capacidad para funcionar como agente cementante. La esencialidad del material en la ingeniería civil surge de su capacidad para mejorar la capacidad de carga, reducir la flexibilidad, optimizar el drenaje y estabilizar suelos contaminados. El uso de cal

viva mejora las propiedades geotécnicas del suelo y aumenta la seguridad y durabilidad de la construcción.

### 2.2.3.1 Propiedades químicas y físicas de la cal viva

La cal viva, u óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), es una sustancia muy alcalina que se produce calentando piedra caliza (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ) a temperaturas superiores a  $900^\circ\text{C}$ . La calcinación es un proceso químico que elimina el dióxido de carbono y da como resultado la formación de óxido de calcio. La cal viva tiene una fuerte reactividad, particularmente cuando se encuentra con agua, lo que resulta en una reacción rápida que produce hidróxido de calcio (a veces denominado cal apagada,  $\text{Ca(OH)}_2$ ). Esta reacción exotérmica genera una cantidad significativa de energía térmica, lo que resulta ventajoso en el contexto de los procedimientos de secado. Además, la cal viva tiene una capacidad significativa para neutralizar ácidos, lo cual es crucial para reducir la acidez de los suelos y controlar los niveles de pH en muchos procesos industriales. (Soberon Monja, 2022).

#### Características de la cal viva

La cal viva es una sustancia finamente molida que puede tener diferentes tonalidades, como blanco o gris, dependiendo de las impurezas de la piedra caliza con la que está fabricada. Este polvo posee una consistencia muy elegante y una densidad aparente reducida, lo que facilita la manipulación sin esfuerzo y la integración perfecta con otras sustancias. La cal viva exhibe importantes propiedades higroscópicas, lo que indica una fuerte atracción por el agua y la capacidad de absorber gradualmente la humedad del aire circundante, lo que lleva a su transformación en hidróxido de calcio. Para evitar la absorción de humedad y la consiguiente formación de grumos, es fundamental almacenar la cal viva en ambientes secos y bien ventilados debido a su alta reactividad.

El proceso exotérmico produce calor y una sustancia con cualidades cementosas, mejorando la estabilidad y longevidad del pavimento tratado. La cal viva tiene la capacidad de neutralizar ácidos y también puede reaccionar con sílice y alúmina que se encuentran



en los suelos. La reacción química da como resultado la formación de silicatos y aluminatos de calcio, que mejoran la cohesión y rigidez del suelo. (Soberon Monja, 2022)

### **La importancia de la estabilización del suelo**

La cal viva se utiliza principalmente en ingeniería civil para mejorar la estabilidad y mejorar las características físicas y químicas de los suelos. Cuando la cal viva se combina con suelos arcillosos, disminuye la capacidad del suelo para fluir y mejora su capacidad para soportar peso y mantener la estabilidad. La alta reactividad de la cal viva con el agua no sólo elimina la humedad de los suelos húmedos, sino que también inicia reacciones que mejoran la resistencia y durabilidad del suelo tratado. Este procedimiento es sumamente eficiente para la construcción de carreteras, cimientos y otras construcciones que requieren cimientos robustos y duraderos.

### **Mejora de las características geotécnicas**

La adición de cal viva a suelos cohesivos produce alteraciones sustanciales en su estructura y comportamiento. La cal viva disminuye la maleabilidad del suelo al desintegrar la composición arcillosa y promover la creación de partículas más grandes, convirtiendo así los suelos arcillosos adhesivos en sustancias más manejables y estables. Además, la interacción entre la cal viva y los minerales del suelo mejora su capacidad de carga y disminuye su vulnerabilidad a las fluctuaciones en los niveles de humedad. Garantizar la estabilidad de la estructura del suelo es de suma importancia, especialmente ante diferentes circunstancias climáticas.

#### **2.2.3.2 Mecanismos de estabilización de suelos con cal viva**

La cal viva tiene una notable capacidad para absorber agua, lo que le permite eliminar eficientemente la humedad de los suelos húmedos. Esta característica es especialmente beneficiosa para suelos expansivos que exhiben propensión a expandirse y contraerse en respuesta a las fluctuaciones de humedad. La cal viva mejora la



compactación y la estabilidad del suelo al reducir su contenido de humedad, resolviendo así los problemas relacionados con el asentamiento desigual y mejorando la resiliencia mecánica del suelo. (Blanco, 2023)

### **Estabilidad y resiliencia mejoradas**

La adición de cal viva mejora significativamente la estabilidad y longevidad del suelo. El proceso químico produce compuestos que mejoran la adhesión entre las partículas del suelo, aumentando así su capacidad de carga y reduciendo su susceptibilidad a la deformación. Establecer una base sólida y protegida es crucial para construir infraestructura como carreteras, cimientos y plataformas. Es fundamental priorizar la seguridad y la longevidad de las estructuras. (Blanco, 2023)

### **Inmovilización de metales pesados**

La cal viva es fundamental para la inmovilización de los metales pesados presentes en el suelo. La cal viva sufre interacciones químicas con metales pesados, lo que lleva a la creación de compuestos insolubles que impiden la movilidad y absorción de estos metales por parte de los organismos vivos. Este método tiene ventajas sustanciales a la hora de remediar suelos contaminados, minimizando así el riesgo de contaminación ambiental y garantizando la protección de la salud pública.

### **Capacidad de drenaje mejorada**

La cal viva mejora la permeabilidad del suelo reduciendo su plasticidad y mejorando su composición. Esto facilita el movimiento óptimo del agua a través del suelo, limitando la saturación excesiva y mitigando el peligro de erosión y los problemas de estabilidad. La capacidad de drenaje óptima es crucial en áreas con condiciones climáticas erráticas y en proyectos de construcción donde la gestión eficiente del agua es esencial para una resiliencia duradera y una funcionalidad óptima.

### **Aplicación de conceptos teóricos**

Las soluciones de estabilización con cal viva se emplean con frecuencia en la construcción y restauración de infraestructuras civiles. La cal viva es un método rentable y eficiente para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo, garantizando la estabilidad y longevidad de las estructuras construidas sobre él. Tiene múltiples propósitos, incluida la estabilización del suelo para la construcción de carreteras y aeropuertos, así como la restauración del suelo en regiones contaminadas.

Las técnicas de estabilización de suelos con cal viva aprovechan las características químicas y físicas únicas de la cal viva para mejorar las características geotécnicas del suelo. La cal viva es una sustancia química esencial y altamente adaptable en la ingeniería civil contemporánea. Se utiliza para contrarrestar los efectos de los ácidos, producir sustancias como el cemento, mejorar la capacidad de drenaje e impedir la movilidad de los metales pesados. La implementación de esta estrategia mejora la calidad del suelo y promueve el uso de prácticas de construcción sustentables y ambientalmente conscientes.

#### **2.2.4 Sinergia entre cenizas volantes y cal viva en la estabilización de suelos**

Es una práctica común en ingeniería civil y geotécnica utilizar cenizas volantes y cal viva para la estabilización del suelo. Esta técnica aprovecha sinérgicamente los atributos únicos de ambos componentes para aumentar significativamente la calidad del suelo. Las cenizas volantes son un subproducto generado a partir de la combustión de carbón en centrales termoeléctricas. La combinación se compone principalmente de partículas minúsculas que exhiben propiedades puzolánicas. Estas partículas reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio (que se obtiene de la cal viva) cuando hay agua presente, dando lugar a la creación de compuestos cementosos como silicatos y aluminatos de calcio. La respuesta puzolánica es fundamental ya que mejora la durabilidad y resistencia del suelo a tratar, aumentando así su capacidad portante y reduciendo la deformación plástica. (Quispe Muñoz, 2023)



La cal viva es un compuesto altamente reactivo que se forma cuando la piedra caliza se somete a temperaturas elevadas. Cuando el agua entra en contacto con la cal viva, se produce una reacción química que hace que se transforme en hidróxido de calcio. Esta reacción también resulta en la liberación de energía térmica. La cal viva presenta propiedades aglutinantes y neutralizantes que mejoran la cohesión y la capacidad de carga del suelo. Al emplear estas dos sustancias, se maximizan los atributos favorables de cada una, lo que lleva a un mayor efecto beneficioso sobre el suelo.

La adición de cenizas volantes y cal viva mejora las propiedades mecánicas del suelo al tiempo que reduce su fluidez. La presencia de estos compuestos es especialmente importante en suelos arcillosos, ya que facilitan la descomposición de la estructura arcillosa y favorecen la formación de partículas más grandes. Como resultado, el proceso de gestión y compresión del suelo durante la construcción se vuelve más fácil, lo que mejora la estabilidad y durabilidad a largo plazo.

Otro aspecto vital de esta relación es la mejora de la permeabilidad del suelo. La utilización de cenizas volantes y cal viva mejora la composición del suelo y reduce su plasticidad, facilitando así la penetración del agua en el suelo. Mejorar el drenaje del suelo es esencial para abordar los problemas de saturación y minimizar los riesgos asociados con la erosión y la inestabilidad del suelo en áreas con patrones climáticos impredecibles.

Además, las cenizas volantes tienen la capacidad de inmovilizar eficazmente los metales pesados presentes en el suelo. La cal viva es esencial para la remediación de suelos dañados ya que mejora las propiedades geotécnicas del suelo y minimiza el riesgo de contaminación ambiental.

En resumen, la utilización de cenizas volantes y cal viva ofrece una solución integral y eficaz para la estabilización de suelos en la construcción de infraestructura civil. Al aprovechar las cualidades sinérgicas de estos materiales, esta combinación mejora la resistencia mecánica, reduce la flexibilidad, aumenta el drenaje y ayuda en la limpieza de suelos contaminados. Este enfoque mejora las características del suelo y promueve el uso



de técnicas de construcción sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, garantizando el desarrollo de infraestructuras más seguras, duraderas y resistentes.

#### **2.2.4.1 Investigaciones sobre la combinación de cenizas volantes y cal viva**

Se ha realizado un extenso estudio en las áreas de geotecnia e ingeniería civil sobre el uso concurrente de cal viva y cenizas volantes para la estabilización de suelos. La utilización de esta combinación específica de materiales está muy extendida debido a su impacto favorable en las características geotécnicas del suelo y su potencial para mejorar la durabilidad de las estructuras civiles. (Calderon Lopez, 2022)

#### **Mejora de Propiedades Geotécnicas y Características**

Las cenizas volantes son una sustancia residual que se produce como resultado de la combustión del carbón en las centrales eléctricas. La sustancia está formada por partículas pequeñas y redondas cuidadosamente separadas y que presentan propiedades puzolánicas. Cuando hay agua presente, estas partículas reaccionan con el hidróxido de calcio producido por la cal viva para crear compuestos cementosos, como silicatos y aluminatos de calcio. Las reacciones puzolánicas mejoran significativamente la estabilidad, resistencia y durabilidad del suelo tratado. Se puede formar una base resistente y duradera combinando los atributos complementarios de las cenizas volantes y la cal viva, lo que le permitirá soportar de manera eficiente una amplia gama de proyectos de construcción.

#### **Manipulación del suelo mejorada y rigidez mejorada**

Un beneficio significativo de combinar cal viva y cenizas volantes es la reducción de la flexibilidad del suelo. Esta combinación mejora el manejo del suelo y la compactación en la construcción al promover la producción de partículas de suelo más grandes y ayudar en la desintegración de la estructura arcillosa del suelo. Mejorar la flexibilidad del suelo aumenta la estabilidad a largo plazo del suelo tratado y simultáneamente optimiza el proceso de construcción.



### **Mejorar la capacidad de los sistemas**

La cal viva y las cenizas volantes mejoran la estabilidad del suelo y reducen su flexibilidad, facilitando así la infiltración del agua. En áreas caracterizadas por patrones climáticos impredecibles, mejorar la capacidad del suelo para drenar el agua es de suma importancia para abordar los problemas relacionados con la humedad excesiva, minimizar las posibilidades de erosión y preservar la calidad y estructura general del suelo. La mejora de la capacidad de drenaje del suelo aumenta la durabilidad y funcionalidad de la infraestructura desarrollada.

### **Manejo de la contaminación del suelo**

Una característica destacada de esta mezcla es su capacidad para inmovilizar metales pesados en el suelo, gracias a la eficacia de las cenizas volantes y la cal viva. Específicamente, las cenizas volantes tienen la capacidad de reaccionar químicamente con metales pesados, lo que lleva a la creación de compuestos insolubles que impiden la movilidad y la absorción de estos metales por parte de los organismos vivos. Esta propiedad es crucial para la restauración de suelos dañados, ya que disminuye la probabilidad de contaminación ambiental y al mismo tiempo mejora las propiedades geotécnicas del suelo cuando se mezcla con cal viva.

### **Mejorar la productividad**

Los estudios sobre la utilización de cenizas volantes y cal viva en combinación han demostrado potencial en múltiples proyectos de ingeniería civil del mundo real. Esta combinación proporciona un método integral y duradero para mejorar las características del suelo y garantizar la durabilidad y estabilidad duraderas de estructuras de ingeniería, como la construcción de carreteras, aeropuertos y el refuerzo de plataformas industriales. Mejorar la sostenibilidad y maximizar las propiedades geotécnicas del suelo son objetivos cruciales que han recibido un respaldo sustancial de extensos estudios y análisis.

Múltiples estudios integrales han demostrado consistentemente que la combinación de cenizas volantes y cal viva es altamente eficiente en la estabilización del suelo. Al fusionar estos dos componentes, no sólo se aumentan las capacidades mecánicas y geotécnicas del suelo, sino que también se impulsa la sostenibilidad de los proyectos de construcción en relación tanto con el medio ambiente como con la economía. El progreso de la ingeniería civil y el desarrollo de infraestructuras robustas y ambientalmente sostenibles dependen del examen y la aplicación continuos de esta fusión.

#### **2.2.4.2 Impacto de la combinación en las propiedades de la subrasante**

La combinación de cenizas volantes y cal viva afecta significativamente las cualidades de la subrasante, ya que ambos componentes trabajan juntos para mejorar las características mecánicas del suelo. Esta combinación desencadena una serie de procesos químicos y físicos que mejoran la durabilidad y estabilidad de la subrasante. Las cenizas volantes, un subproducto de la combustión del carbón, contienen sustancias químicas con cualidades puzolánicas que reaccionan con la cal viva y la humedad del suelo, produciendo productos cementosos que mejoran la cohesión de las partículas del suelo. Esta técnica mejora la resistencia a la compresión y la capacidad de carga del suelo, al tiempo que reduce su flexibilidad y vulnerabilidad a la deformación bajo tensiones aplicadas.

Por el contrario, la cal viva mejora la estabilidad del suelo al disminuir su flexibilidad y aumentar su compacidad. La cal hidratante en agua promueve el intercambio iónico y la floculación, convirtiendo el suelo arcilloso y blando en una sustancia más estable y resistente. Además, la cal ayuda a neutralizar los ácidos del suelo, lo que provoca una menor expansión y una mayor estabilidad volumétrica. El uso de cenizas volantes mejora estas propiedades, lo que da como resultado un suelo con mayor durabilidad y rendimiento superior bajo cargas dinámicas y estáticas.

Esta combinación produce una subrasante más resistente con una capacidad de soporte mejorada, lo que facilita la optimización del espesor de la capa de pavimento en la construcción de carreteras. Esta mejora aumenta la eficiencia del edificio, reduce los

costos de materiales y mano de obra y promueve la sostenibilidad del proyecto mediante el uso de desechos industriales reciclados.

### **Mejora de la capacidad de tolerar y soportar cargas pesadas**

En consecuencia, la subrasante tratada con esta combinación exhibe una mayor capacidad de carga y menores deformaciones, asegurando la integridad estructural de la infraestructura construida sobre ella.

### **Mejorar la flexibilidad y mejorar la estabilidad**

Otro resultado destacable es la disminución de la plasticidad del suelo y la mejora de su estabilidad. Las cenizas volantes y la cal viva se utilizan para disminuir la maleabilidad del suelo, específicamente en suelos arcillosos, mejorando la disposición y fomentando la aglomeración de partículas diminutas. Esto mejora el proceso de gestión del suelo y compactación en la construcción, disminuyendo así la probabilidad de asentamiento desigual y mejorando la estabilidad general de la capa inferior. (Bardales Arévalo, 2020)

### **Mejorar la eficiencia de los sistemas de drenaje y resolver problemas**

Las cenizas volantes y la cal viva mejoran el drenaje del suelo al disminuir su fluidez y mejorar su estructura. Mejorar el drenaje del agua es esencial para mitigar los problemas relacionados con la saturación, la erosión y la estabilidad del suelo en regiones propensas a condiciones climáticas impredecibles. Mejorar la capacidad de drenaje del suelo mejora la robustez y la longevidad de la infraestructura construida en él, reduciendo así la probabilidad de daños inducidos por el agua y asegurando una mayor resiliencia a las fluctuaciones en el nivel freático.

### **La aplicación de métodos para inmovilizar y restaurar suelos degradados**

Además, la utilización de cenizas volantes y cal viva puede inmovilizar eficazmente los metales pesados que actualmente están presentes en el suelo. Las cenizas volantes



tienen la capacidad de crear compuestos insolubles con metales pesados, disminuyendo así su movimiento y absorción por parte de los organismos vivos. El atributo especificado es esencial para la remediación de suelos contaminados. Al agregar cal viva al suelo, no solo mejoran las propiedades geotécnicas, sino que también se reduce considerablemente el potencial de contaminación ambiental.

### **Aplicaciones prácticas y eficiencia**

Las cenizas volantes y la cal viva tienen diversos usos prácticos en proyectos de ingeniería civil. Esta combinación proporciona una solución integral y duradera para mejorar las propiedades del suelo y garantizar la confiabilidad y longevidad de proyectos de infraestructura, como la construcción de carreteras y aeropuertos, así como la estabilización de plataformas industriales. Mejorar las características geotécnicas del suelo y promover la sostenibilidad son factores cruciales que han sido respaldados por investigaciones y análisis exhaustivos en la disciplina.

La utilización de cenizas volantes y cal viva en combinación generalmente produce un efecto sustancial y beneficioso sobre las características de la subrasante. Esta sinergia mejora la resistencia del suelo a la conductividad eléctrica, la capacidad de carga y la estabilidad, al tiempo que reduce la distorsión y mejora el drenaje del agua. Estas mejoras conducen a la creación de infraestructuras que no sólo son más seguras y resistentes a los daños, sino también más sostenibles ambientalmente. Continuar estudiando y utilizando esta combinación es esencial para avanzar en la ingeniería civil y construir infraestructura duradera y ambientalmente sostenible en el futuro.

### **2.2.5 Consideraciones ambientales y sostenibilidad en la construcción de carreteras**

Las preocupaciones ambientales y la sostenibilidad son factores esenciales en la construcción de carreteras, cuyo objetivo es establecer un equilibrio armonioso entre los



requisitos de infraestructura y la conservación y salvaguarda de los recursos naturales.

(Flores Ruiz & Romero Mendo, 2023)

Las consideraciones ambientales y la sostenibilidad en la construcción de carreteras son aspectos críticos de la ingeniería civil moderna, debido al impacto que estos proyectos tienen en los ecosistemas y los recursos naturales. La construcción de carreteras influye directamente en el medio ambiente a través de la modificación del suelo y la generación de basura, al tiempo que impacta indirectamente en el uso de recursos no renovables, las emisiones de gases de efecto invernadero y la alteración de los ecosistemas naturales. Por lo tanto, es importante incluir estrategias que alivien estos efectos y promuevan la sostenibilidad en todas las etapas del proyecto, desde el diseño hasta la implementación y el mantenimiento.

Un enfoque clave para mejorar la sostenibilidad en la construcción de carreteras es el uso de materiales reciclados y alternativos, como cenizas volantes y otros subproductos industriales. Los materiales que a menudo se consideran desechos en otros entornos podrían mejorar las propiedades de los suelos y pavimentos, reduciendo así la dependencia de recursos naturales no renovables como la grava y la arena. Además, la reutilización de estos subproductos industriales disminuye la huella de carbono del proyecto al disminuir la necesidad de extracción, procesamiento y transporte de materias primas. La integración de materiales reciclados mejora la eficiencia del proyecto, reduce los costos y disminuye el impacto ambiental.

Un elemento crucial es la gestión de residuos y la reducción de emisiones. La construcción de carreteras produce cantidades importantes de desechos sólidos y líquidos, que requieren un tratamiento eficaz para prevenir la contaminación del suelo y de los cuerpos de agua cercanos. Desarrollar estrategias para la eliminación o reutilización adecuada de estos desechos es crucial para reducir su impacto ambiental. La utilización de tecnología y métodos de construcción que disminuyen las emisiones de gases nocivos, incluidos aparatos energéticamente eficientes y vías de transporte mejoradas, ayuda a la mitigación del cambio climático y mejora la sostenibilidad del proyecto.

Es fundamental tener una perspectiva a largo plazo que incluya todo el ciclo de vida de la infraestructura viaria, desde la construcción hasta el mantenimiento y el desmantelamiento final. El diseño de carreteras debe incluir conceptos que garanticen la durabilidad y reduzcan la necesidad de realizar más mejoras. La implementación de tecnologías de pavimento sostenibles y sistemas de drenaje que mejoren la conservación del agua y la gestión eficiente de las aguas pluviales es crucial para la sostenibilidad a largo plazo de las carreteras. En consecuencia, la construcción de carreteras podrá cumplir con principios de sostenibilidad, logrando un equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental.

### **Preservación del medio ambiente natural**

Al participar en la construcción de carreteras, es imperativo realizar una evaluación exhaustiva de los efectos sobre el entorno natural cercano y la biodiversidad. Esto implica el reconocimiento y salvaguardia de regiones vulnerables, como ecosistemas prístinos, cuerpos de agua y hábitats de fauna en peligro de extinción. Se deben realizar esfuerzos para abordar la fragmentación del hábitat y prevenir la pérdida de biodiversidad. Esto implica la elección meticulosa de rutas para evitar áreas protegidas, así como la construcción de puentes para la vida silvestre y corredores ecológicos para permitir la migración de los animales y preservar la interconexión de los ecosistemas. (Flores Ruiz & Romero Mendo, 2023)

### **Optimizar la utilización eficaz de los recursos naturales**

Durante todo el proceso de extracción, procesamiento, transporte e instalación. Abogamos por la utilización de materiales locales y reciclados siempre que sea posible para disminuir la dependencia de recursos naturales finitos y mitigar la liberación de emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con ellos.

### **Gestión de residuos y reciclaje**

La gestión de residuos y el reciclaje son factores cruciales que deben tenerse en cuenta. Emplear estrategias eficientes es esencial para reducir la cantidad de residuos

producidos durante la construcción de carreteras y garantizar su adecuada eliminación. Al implementar la estrategia de utilizar materiales de construcción recuperados e incorporar materiales reciclados en la infraestructura vial, podemos disminuir efectivamente la cantidad de desechos que se eliminan en los vertederos. Esta estrategia también salvaguarda recursos naturales cruciales y garantiza la durabilidad duradera de la infraestructura. (Flores Ruiz & Romero Mendo, 2023)

### **Abordar las emisiones y el cambio climático**

La construcción y el mantenimiento de carreteras pueden tener un impacto sustancial en la liberación de gases de efecto invernadero. De ahí que sea crucial adoptar estrategias enfocadas a reducir estas emisiones y ajustarse a las consecuencias del cambio climático. Esto implica la utilización de tecnología y metodologías que mitiguen las emisiones durante todo el proceso de construcción y mantenimiento de carreteras. Además, implica utilizar diseños de carreteras que maximicen la eficiencia energética y minimicen el uso de combustible en los automóviles.

### **Implementación de infraestructura ambientalmente sustentable**

Para lograr la sostenibilidad en la construcción de carreteras es necesario utilizar infraestructuras sensibles al medio ambiente. Esto implica la creación de hábitats que mejoren la variedad de especies autóctonas, utilicen métodos sostenibles para preservar el agua y mejoren la pureza del aire. Es recomendable utilizar métodos de paisajismo y plantación que minimicen el daño al medio ambiente y mejoren el atractivo visual y la funcionalidad de la ruta, ofreciendo ventajas estéticas y ecológicas a las comunidades cercanas.

Las consideraciones ambientales y la sostenibilidad son cruciales en la construcción de carreteras para minimizar las consecuencias ambientales, optimizar la utilización de los recursos naturales, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar la preservación de especies y ecosistemas. Mediante el uso de metodologías

sustentables y tecnología de punta, es factible construir y mantener redes viales que prioricen la seguridad, la longevidad y la conciencia ambiental. Esto, a su vez, contribuye al avance de la sostenibilidad a largo plazo.

### **2.2.5.1 Impacto ambiental de la utilización de subproductos industriales**

Las consecuencias ambientales del uso de subproductos industriales en muchas aplicaciones, como la construcción de carreteras y el desarrollo de infraestructura, son un tema importante que está ganando cada vez más atención. Esto se debe a que tiene la capacidad de disminuir la dependencia de los recursos naturales y mitigar el impacto ambiental global. (Yunga Silva, 2023)

Las implicaciones ambientales del uso de residuos industriales en la construcción de carreteras y otras infraestructuras son un tema crítico en las prácticas contemporáneas de sostenibilidad dentro de la ingeniería civil. Los subproductos como las cenizas volantes, el polvo de los hornos de cemento y la escoria de los altos hornos son materiales de desecho industriales que pueden reutilizarse en aplicaciones de construcción en lugar de eliminarse en los vertederos. Esto reduce el uso de recursos prístinos y mitiga los efectos ambientales adversos.

La principal ventaja medioambiental del uso de restos industriales es la reducción de la necesidad de extracción y procesamiento de recursos naturales. El empleo de estos materiales para la estabilización de suelos, pavimentos u hormigón reduce la necesidad de agregados naturales, cuya explotación puede afectar negativamente a los ecosistemas al modificar los paisajes, deteriorar los suelos y causar pérdida de biodiversidad. Además, disminuye la energía necesaria para la fabricación de materiales convencionales, lo que se traduce en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ), contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

Además, el uso de subproductos industriales facilita la gestión sostenible de los residuos producidos por otras áreas de producción. En lugar de enviar estos materiales a vertederos, que ocupan un espacio considerable y pueden provocar la contaminación del



suelo y el agua a través de lixiviados, su uso en la construcción promueve una economía circular que transforma los desechos en recursos valiosos. Esto alivia la carga sobre los sistemas de gestión de residuos y reduce el efecto medioambiental de la basura industrial.

Por el contrario, es importante reconocer que, si bien el uso de desechos industriales puede proporcionar resultados beneficiosos, es crucial una evaluación exhaustiva de las preocupaciones ambientales asociadas. Ciertos subproductos pueden incluir metales pesados u otras sustancias potencialmente peligrosas que, en determinadas circunstancias, podrían filtrarse al medio ambiente y afectar la calidad del suelo o del agua subterránea. En consecuencia, es fundamental realizar evaluaciones exhaustivas de estos materiales y verificar su cumplimiento de la normativa medioambiental antes de su uso en proyectos de edificación.

El uso de residuos industriales en la construcción afecta positivamente al medio ambiente al reducir los residuos, conservar los recursos naturales y ahorrar energía, mejorando así la sostenibilidad general. No obstante, debe ejecutarse meticulosamente, considerando tanto las ventajas como los riesgos para garantizar que los efectos ambientales se alivien adecuadamente durante la duración de las iniciativas de infraestructura.

### **Minimización óptima de residuos y uso eficiente de los recursos.**

La incorporación de subproductos industriales, como cenizas volantes y escorias, en la construcción de carreteras es crucial para mitigar la acumulación de residuos industriales. El término "sobras" se refiere a elementos que de otro modo se desecharían en los vertederos, ocupando espacio valioso y potencialmente planteando riesgos ambientales. Al incorporar estos productos secundarios en la construcción de infraestructura, se optimiza la utilización de recursos y se minimiza la necesidad de cosechar y refinar recursos naturales, como agregados y materiales pétreos. (Yunga Silva, 2023)



### **Mejora y mantenimiento de propiedades inmobiliarias**

La utilización de subproductos industriales puede mejorar las características de los materiales de construcción y reforzar la sostenibilidad de la infraestructura. Por ejemplo, las cenizas volantes, un residuo que se produce al quemar carbón en las centrales eléctricas, posee características pozolánicas que pueden mejorar la resiliencia y la potencia del hormigón y el mortero. Al integrar estos materiales de desecho en mezclas de hormigón.

### **Los proyectos globales se centran en reducir el efecto combinado.**

Además, al utilizar estos materiales sobrantes, es posible disminuir la necesidad de espacio en los vertederos y mitigar la contaminación del suelo y el agua.

### **Factores y variables a tener en cuenta**

La utilización de residuos industriales en la construcción de carreteras plantea varios obstáculos y requiere un examen cuidadoso. Es fundamental garantizar que estos productos secundarios cumplan con los criterios de calidad y seguridad necesarios para su utilización en aplicaciones de ingeniería civil. Además, es crucial evaluar las posibles consecuencias ecológicas a nivel local, como la descarga de productos químicos peligrosos o elementos tóxicos, y desarrollar formas de reducir cualquier peligro relacionado.

### **El esfuerzo por realizar investigaciones científicas y fomentar la creación de conceptos y tecnologías novedosos**

La investigación y el desarrollo en curso son cruciales para mejorar la explotación segura y eficiente de los residuos industriales en la construcción de carreteras. Esto implica el descubrimiento de posibles subproductos novedosos, la mejora de las técnicas de procesamiento y la evaluación de su eficacia a largo plazo en diversos escenarios ambientales.

En resumen, el uso de subproductos industriales en la construcción de carreteras proporciona un enfoque rentable y tecnológicamente avanzado para la gestión de residuos industriales, al mismo tiempo que apoya la sostenibilidad y minimiza las consecuencias ambientales. Al utilizar estos materiales complementarios, el sector de la construcción puede tener un impacto sustancial en la conservación de los recursos naturales y la mitigación de las consecuencias del cambio climático. Esto dará como resultado el desarrollo de infraestructuras extremadamente duraderas y respetuosas con el medio ambiente, lo que proporcionará ventajas para las generaciones futuras.

#### **2.2.5.2 Contribuciones a la construcción sostenible**

Las contribuciones a la construcción sostenible implican una variedad de métodos e ideas destinados a reducir el daño ecológico, mejorar la eficiencia energética y promover el bienestar de las personas. Estas contribuciones son esenciales en el negocio de la construcción contemporáneo, particularmente en un entorno donde existe una creciente preocupación por el cambio climático y la disponibilidad limitada de recursos naturales. (Yunga Silva, 2023)

#### **Mejorar la eficiencia energética**

La eficiencia energética es un componente esencial de la construcción sostenible. Se refiere al procedimiento metódico y deliberado de creación y construcción de estructuras con el objetivo de reducir el uso de energía durante toda su vida útil, abarcando las fases de construcción, operación y mantenimiento. Los métodos implican utilizar materiales con características excepcionales de aislamiento térmico, implementar sistemas eficientes de iluminación y aire acondicionado e incorporar energías renovables como la solar y la eólica para disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovables.



### **Utilización de materiales sostenibles y reciclables**

Otro factor crucial es la utilización de materiales sostenibles y reciclables. La construcción sustentable aboga por la explotación de recursos amigables con el medio ambiente, como la madera que ha sido certificada por programas de manejo forestal sustentable, la incorporación de materiales reciclados como áridos en el concreto y la utilización de acero reciclado en construcciones metálicas. Estos materiales contribuyen a mitigar el impacto ambiental de los proyectos de construcción al minimizar las emisiones de carbono y desviar la basura de los vertederos.

### **Gestión eficiente y respetuosa con el medio ambiente**

La gestión eficaz del agua y los residuos es un componente crucial de la construcción sostenible. Esto incluye la implementación de tecnología de recolección y reutilización de agua de lluvia, el establecimiento de sistemas de drenaje sostenibles para mitigar la escorrentía y la contaminación, y la adopción de metodologías de reciclaje y reutilización de residuos de construcción. Estos métodos no sólo preservan los suministros vitales de agua, sino que también mitigan las repercusiones ambientales relacionadas con la gestión de los residuos de la construcción.

### **Mejora de la calidad ambiental interior**

La construcción sostenible concede gran importancia a la mejora de la calidad ambiental interior de los edificios. Esto implica el establecimiento de un flujo de aire natural eficaz, la eliminación de sustancias peligrosas y contaminantes del aire interior y el desarrollo de un entorno que fomente el bienestar físico y mental de las personas. Maximizar la productividad y fomentar el bienestar en una estructura requiere mantener niveles óptimos de luz natural y gestionar eficazmente el confort térmico.

### **La fusión del diseño y el urbanismo sostenible**

La construcción sostenible promueve la incorporación del diseño y la planificación urbana sostenible. Esto implica diseñar estrategias de desarrollo urbano que faciliten el

transporte sostenible, el establecimiento de áreas verdes y la incorporación de elementos naturales al entorno construido. El objetivo es establecer comunidades que sean más resilientes y prósperas, minimizando al mismo tiempo el impacto ecológico y mejorando el bienestar de los residentes.

Garantizar que la industria de la construcción adopte prácticas sostenibles es crucial para abordar eficazmente los desafíos ambientales y sociales del siglo XXI. La construcción sostenible prioriza la protección del medio ambiente y fomenta el crecimiento de comunidades más saludables y resilientes mediante el empleo de técnicas.

## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1. CBR

El California Bearing Ratio (CBR) cuantifica la capacidad de carga del suelo en condiciones controladas. Se utiliza principalmente en ingeniería civil para evaluar la resistencia de suelos y materiales utilizados en la construcción de pavimentos y carreteras. La prueba CBR implica evaluar la resistencia a la penetración del suelo utilizando un pistón estándar en relación con un material de referencia, a menudo piedra triturada. Esta cifra es crucial para el desarrollo de las capas de pavimento, ya que indica la capacidad del suelo para soportar cargas provenientes de la actividad vehicular. (Flores Ruiz & Romero Mendo, 2023)

### 2.3.2. Cal viva

La cal viva, también conocida como óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), es un compuesto sólido formado a partir de la descomposición química de la piedra caliza, compuesta en su mayor parte por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), durante el calentamiento. Esta sustancia química presenta una marcada reactividad y experimenta una reacción explosiva cuando entra en contacto con el agua, lo que da lugar a la formación de hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) y a la liberación de energía calorífica. La cal viva se utiliza ampliamente en diversas industrias,

como la construcción (para producir mortero y yeso), la agricultura (como acondicionador del suelo), la industria química y metalúrgica y el tratamiento de aguas residuales, entre otras. Es ampliamente reconocida por su capacidad para modificar las propiedades físicas y químicas de las sustancias con las que se mezcla, así como por sus efectos desinfectantes y estabilizadores en usos especializados. (Cosio Huillca & Franco Centeno, 2023)

### **2.3.3. Cenizas volantes**

Las cenizas volantes son un subproducto generado a partir de la combustión del carbón en las centrales eléctricas de carbón, cuando éste se utiliza como principal fuente de energía. Las cenizas se recogen de los gases de combustión mediante sistemas de control de la contaminación y están compuestas principalmente por partículas en suspensión. Las cenizas volantes son bien conocidas por su composición rica en sílice, aluminio y otros elementos, que le confieren propiedades cementantes y puzolánicas. Debido a estos atributos. (Gutiérrez Pariona & Parco Ramírez, 2022)

### **2.3.4. Suelos**

Los suelos están formados por partículas minerales, materia orgánica, agua y aire, ubicados en la superficie de la tierra, y cumplen funciones críticas en la construcción, la agricultura y los procesos ambientales. En ingeniería civil, los suelos son fundamentales para el diseño y construcción de infraestructuras, ya que su capacidad portante, permeabilidad y comportamiento compresivo influyen directamente en la estabilidad estructural. Los suelos tienen diferentes cualidades mecánicas en función de su origen y composición, por lo que es necesario realizar una evaluación exhaustiva antes de cualquier proyecto de construcción. (Fonseca et al., 2019)



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

Un diseño de investigación es un plan sistemático y exhaustivo que guía el proceso de recopilación, análisis e interpretación de datos en un estudio. Este documento presenta los procedimientos y estándares necesarios para realizar investigaciones y validar hipótesis. Este diseño implica la selección meticulosa de procedimientos de muestreo adecuados, la identificación precisa de variables y la organización metódica de la recopilación y el análisis de datos. (Vega & Cahuana, 2021)

Este estudio tendrá como base el diseño experimental, ya que en este mismo tendremos que elaborar y manipular las muestras, entre estas se encontrarán las muestras convencionales y/o naturales y otras que estarán elaboradas con la incorporación de cenizas volantes y cal viva.

#### 3.2 Método de la investigación

Un método de investigación es una forma metódica y organizada que se utiliza para recopilar y examinar datos con el fin de abordar consultas de investigación o fundamentar hipótesis. Esta técnica se puede clasificar como cualitativa, cuantitativa o una combinación de ambas. El proceso implica la selección y aplicación meticulosa de métodos y



procedimientos particulares en el estudio para garantizar la precisión y coherencia de los datos recopilados. (Reyes, 2022)

El estudio realizado a continuación utiliza un método científico, por que realizara un proceso sistemático para la identificación de las distintas circunstancias en los que se determinaran problemas.

### **3.3 Nivel y tipo de la investigación**

#### **3.3.1 Nivel de la investigación**

El nivel de estudio se refiere a la profundidad y minuciosidad con que se investiga un tema de investigación. La investigación consta de varias etapas, como la exploratoria, la descriptiva, la correlacional y la explicativa, cada una de las cuales tiene objetivos y métodos de procedimiento únicos. La investigación exploratoria busca descubrir problemas o hipótesis, mientras que la explicativa trata de comprender las causas y consecuencias de un fenómeno. (Ramos Galarza, 2020)

El estudio presentado, presentará un nivel de investigación explicativo, estará establecido por datos experimentales, por la incorporación de cenizas volantes y cal viva sobre la subrasante para mejorar la transitabilidad de la zona.

#### **3.3.2 Tipo de la investigación**

Se refiere a la categorización de un estudio en función de su objetivo y técnica. Las categorías principales son la investigación exploratoria, descriptiva, correlacional y explicativa. La investigación exploratoria pretende descubrir ideas o teorías innovadoras, mientras que la investigación descriptiva pretende ofrecer una descripción exhaustiva de las características de un fenómeno. Un estudio correlacional investiga las asociaciones entre múltiples variables. Un estudio explicativo pretende examinar a fondo las razones fundamentales y los resultados de un suceso. (Castro Maldonado et al., 2023)



### 3.4.2 Muestra

En el campo de la investigación, una muestra es un grupo específico de individuos seleccionados para participar en un estudio. La selección de este grupo se lleva a cabo de manera que refleje con exactitud la población más amplia que se está estudiando. Una muestra se emplea para hacer inferencias y generalizaciones sobre toda la población, lo que permite a los investigadores recopilar datos y elaborar conclusiones sin tener que examinar a cada individuo de toda la población. La calidad y representatividad de la muestra son cruciales para garantizar la validez y fiabilidad de las conclusiones del estudio.

En este estudio se tendrá como muestra la subrasante de la carretera Arapa – Achaya, esta subrasante estará estabilizada con Cenizas volantes y cal viva.

**Tabla 2**

*Numero de ensayos realizados*

Descripción	Índice de Plasticidad	Grado Compactación	CBR	Total
SN	3	3	3	9
<b>Con incorporación</b>				
SN + 2.5% CV	3	3	3	9
SN + 3.5% CV	3	3	3	9
SN + 3% CV	3	3	3	9
SN + 4% CV	3	3	3	9
<b>Total</b>				<b>45</b>

**Nota:** SN (Suelo natural), CV (Cenizas Volantes), CV (Cal viva)

## 3.5 Técnicas e instrumentos

### 3.5.1 Técnicas

Los procesos de investigación abarcan los métodos meticulosos y metódicos utilizados para recopilar, analizar y evaluar los datos de un estudio. Estos procesos pueden

incluir encuestas, entrevistas, observaciones, análisis de contenido, experimentos y estudios de casos, entre otros enfoques. La elección de la metodología depende de los objetivos del estudio y de la información específica necesaria para investigar las preguntas de la investigación o apoyar las hipótesis. (Suárez P. et al., 2022)

- **Técnica de Observación:** Se determinó que las propiedades del suelo de la subrasante que se estaba investigando podían determinarse mediante el uso de una técnica de observación. Este procedimiento tiene en cuenta cuantificaciones y mediciones de una multitud de tipos de datos diferentes.

- **Técnica de procesamiento y análisis de información:** Se utilizaron técnicas de síntesis para llevar a cabo un análisis de los datos recogidos tanto en la investigación presencial como en la de laboratorio.

### **3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación**

Los instrumentos de recopilación de datos de estudio son herramientas desarrolladas específicamente que recopilan información pertinente sobre el tema de estudio, facilitando así la acumulación de datos precisos y confiables. Estos dispositivos son cruciales para la fase de recolección de datos, ya que la calidad de los datos adquiridos influye directamente en la validez de los hallazgos y conclusiones del estudio. La elección del instrumento apropiado depende de la naturaleza del estudio, el enfoque metodológico utilizado y las características de los datos que se recopilarán.

Las herramientas de recopilación de datos incluyen encuestas, cuestionarios, entrevistas, observaciones y evaluaciones estandarizadas. Las encuestas y cuestionarios se utilizan para recopilar datos estructurados de una población sustancial, incluidas consultas cerradas o abiertas, y se utilizan principalmente en investigaciones cuantitativas. Por el contrario, las entrevistas brindan más flexibilidad y facilitan el compromiso directo con los participantes, lo que lleva a su creciente importancia en la investigación cualitativa.

Las observaciones, ya sean participativas o no participativas, incluyen la documentación metódica de actos o eventos dentro de su entorno natural.

Además, los instrumentos deben cumplir ciertos requisitos de validez y confiabilidad. La validez garantiza que el instrumento mida con precisión el tema designado, mientras que la confiabilidad se refiere a la consistencia de los hallazgos cuando el instrumento se usa varias veces. La creación y validación meticulosa de instrumentos son esenciales para garantizar que los datos recopilados representen correctamente la realidad investigada y puedan ser evaluados de manera sistemática y coherente en el marco de la investigación. (Suárez P. et al., 2022)

### **3.6 Validación y confiabilidad del instrumento**

#### **3.6.1 Validación de los instrumentos**

La validación de instrumentos es el proceso de confirmar la precisión y eficacia de un instrumento de medición, como un cuestionario, prueba o escala, para medir con precisión su objetivo previsto. Esta etapa del proceso de investigación es crucial ya que garantiza que los datos obtenidos por el instrumento sean pertinentes y reflejen con precisión la situación que se investiga. La validación implica muchos tipos de análisis, como la validación de contenido, la validación de constructo y la validación de criterios, cada uno diseñado para evaluar diferentes aspectos de la validez del instrumento.

Por otro lado, la confiabilidad del equipo se refiere al grado de confiabilidad y estabilidad en las mediciones obtenidas. Una herramienta se considera confiable cuando produce resultados consistentes de manera regular y correcta cuando se usa en entornos similares. La confiabilidad se evalúa mediante técnicas como el análisis de consistencia interna, test-retest y consistencia entre jueces. La precisión del instrumento y la reducida variabilidad de los resultados debido a un alto grado de confiabilidad reducen significativamente la posibilidad de errores de investigación.

Tanto la validación como la confiabilidad son esenciales para garantizar la precisión de los datos recopilados y la confiabilidad de las conclusiones derivadas de una investigación. Una herramienta auténtica y confiable sirve como una base sólida para tomar decisiones informadas y avanzar en el conocimiento en cualquier campo académico.

### **3.6.2 Confiabilidad de instrumentos**

La confiabilidad del instrumento es el grado en que un instrumento genera de manera consistente y confiable datos consistentes en diversas condiciones y durante un período de tiempo. En esencia, si el instrumento se utiliza con frecuencia en entornos consistentes o en el mismo grupo de personas, los resultados deberían ser comparables. Una herramienta confiable reduce las imprecisiones en las mediciones, garantizando que las discrepancias en las mediciones representen con precisión variaciones genuinas entre individuos o grupos, en lugar de inconsistencias en la herramienta en sí. Garantizar la confiabilidad de los datos es crucial para generar resultados precisos y válidos que puedan usarse para formular conclusiones e interpretaciones de la investigación.

## **3.7 Plan de recolección y procesamiento de datos**

### **3.7.1 Selección de calicatas**

La selección de excavaciones es una etapa vital en la investigación geotécnica y de ingeniería civil. Implica el procedimiento de identificación y selección de lugares importantes para la excavación sistemática en el suelo. Estas excavaciones, conocidas como pozos de prueba, zanjas de prueba o trincheras, se llevan a cabo para examinar las propiedades específicas del suelo de una región determinada, incluidas sus características físicas, mecánicas y geológicas. Este enfoque implica recopilar datos esenciales para comprender las características del terreno y su idoneidad para diferentes proyectos de desarrollo o ingeniería.



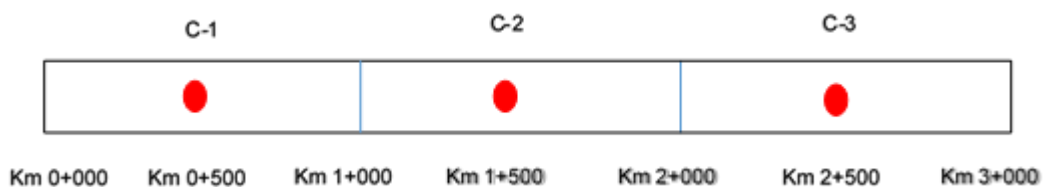
La técnica de selección de pozos comienza estableciendo objetivos de investigación, que pueden incluir evaluar la capacidad de carga del suelo, identificar los niveles freáticos, examinar el perfil estratigráfico o evaluar la estabilidad del terreno para futuros proyectos de construcción. Una vez establecidos los objetivos se realiza un examen inicial de la topografía. Este procedimiento implica el uso de recursos como mapas geológicos, imágenes satelitales y estudios previos para identificar áreas de importancia o posibles riesgos geotécnicos. En estos momentos es imperativo centrar la investigación en los lugares más pertinentes y abstenerse de investigar áreas que no proporcionen datos sustanciales.

El posicionamiento preciso de los pozos es esencial, ya que deben ubicarse en áreas que representen fielmente todo el terreno y puedan influir directamente en el proyecto particular que se está llevando a cabo. La selección se determina evaluando la variedad de la composición del suelo y la proximidad a las estructuras necesarias. Además, es importante tener en cuenta los factores logísticos y de acceso, como la viabilidad de las excavaciones en términos de ingreso de equipos, autorizaciones necesarias y posibles alteraciones a la infraestructura existente.

En última instancia se determina la selección del tamaño y profundidad de las excavaciones, y esto puede variar dependiendo de los objetivos específicos de la investigación. La profundidad a menudo está vinculada a la magnitud de la influencia del proyecto, como la profundidad deseada de los cimientos o la profundidad del nivel freático. Los datos obtenidos de los pozos son cruciales para evaluar la topografía, lo que permite a ingenieros y geotécnicos tomar decisiones bien informadas sobre el diseño y la implementación de proyectos. Seleccionar sitios de excavación adecuados es esencial para garantizar que los datos recopilados sean representativos y relevantes para el análisis geotécnico, mejorando así la seguridad y eficacia del proyecto.

**Figura 2**

*Localización de los puntos de exploración*



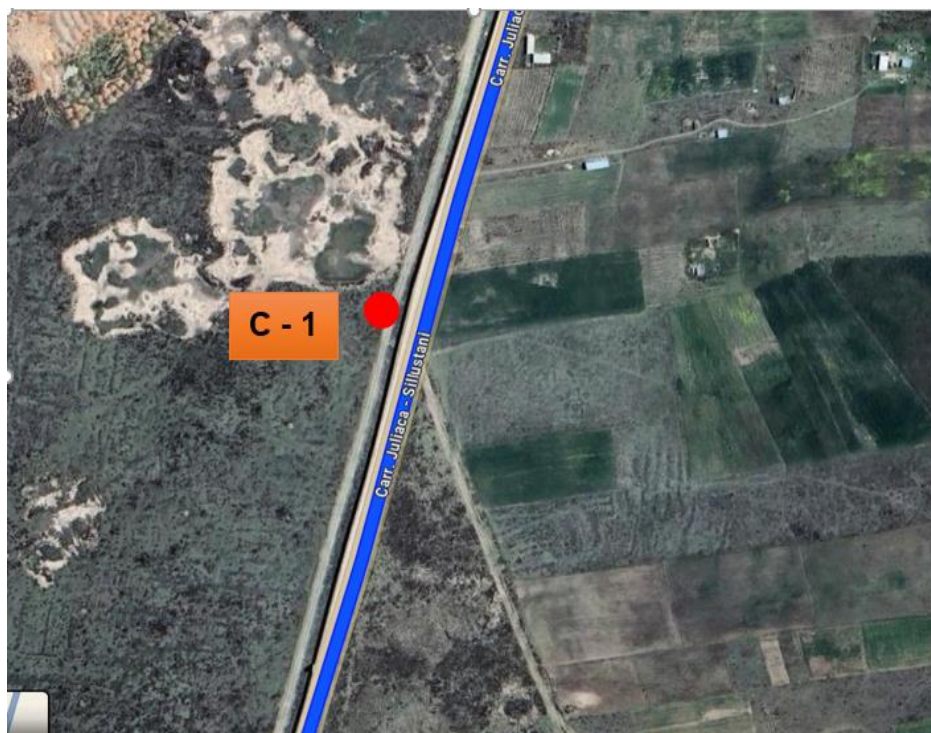
**Tabla 3**

*Ubicación de las calicatas*

Tram.	Km	Calic.	Marg.
0+00 – 1+00	0+500	1	D
1+00 – 2+00	1+500	2	I
2+00 – 3+00	2+500	3	D

**Figura 3**

C-1



**Figura 4**

C-2



**Figura 5**

C-3





### **Toma de muestra del material**

El muestreo de materiales es una práctica crucial en varias industrias como la geología, la ingeniería civil, la minería y la construcción. El método implica la extracción y recolección de una muestra representativa de material de fuentes como suelo, roca, minerales u otras sustancias. Posteriormente, la muestra proporcionada se somete a escrutinio y evaluación dentro de un laboratorio controlado. Este método permite recopilar datos precisos sobre las características físicas, químicas y mecánicas del material. Esta información es vital para tomar decisiones bien informadas en proyectos de construcción, desarrollo de infraestructura, control de calidad y estudios ambientales.

El proceso de muestreo de material comienza con la identificación del objetivo de la muestra, que determina el tipo preciso de material necesario y los propósitos previstos para su examen. Estas tareas pueden incluir realizar una investigación de resistividad del suelo, detectar contaminantes, evaluar granulometría, determinar la capacidad de carga o analizar la composición mineralógica, entre otras actividades. Una vez establecido un objetivo particular, se seleccionan meticulosamente los lugares más adecuados para la recolección de muestras para garantizar que representen fielmente toda el área o depósito en estudio.

La metodología para la extracción de muestras varía según el material particular y el objetivo analítico. Los suelos se examinan mediante perforadoras o tubos de muestra, mientras que las rocas y los minerales se estudian mediante perforadoras o equipos especializados de corte y extracción de muestras. Para garantizar la precisión de las mediciones de laboratorio, es esencial minimizar cualquier alteración que pueda tener lugar durante el procedimiento de muestreo, de modo que las características de la sustancia original se representen con precisión.

Después de la extracción de las muestras, es fundamental manipularlas y transportarlas con mucho cuidado para evitar cualquier contaminación, mezcla o alteración que pueda comprometer la precisión de los resultados analíticos. Este procedimiento implica el uso de contenedores apropiados, una clasificación cuidadosa y el registro de

toda la información relevante sobre el espécimen, incluida la ubicación exacta de la extracción, la profundidad y las condiciones ambientales durante todo el proceso de recolección.

En última instancia, las muestras se envían a un laboratorio para un escrutinio meticuloso, donde se someten a una secuencia de evaluaciones según criterios de valoración predeterminados. Los resultados recopilados proporcionan información crucial que influye en las decisiones de diseño y planificación, asegurando que los proyectos se basen en una comprensión sólida y precisa del material presente en el sitio. Un muestreo preciso del material es esencial para garantizar la precisión de los resultados y, en última instancia, el éxito de cualquier proyecto que dependa de estos datos.

### **Obtención de cenizas volantes y cal viva**

- La obtención de cenizas volantes comienza en las instalaciones termoeléctricas, donde se incinera carbón pulverizado para producir electricidad. En este procedimiento, primero se pulveriza el carbón para mejorar la eficiencia de la combustión. Dentro de la caldera, el carbón pulverizado se quema a temperaturas elevadas, lo que da como resultado la licuefacción de las partículas inorgánicas no combustibles presentes en el carbón. A medida que los gases de combustión transportan estas partículas, su temperatura disminuye rápidamente al salir de la caldera y se endurecen formando pequeñas esferas de vidrio llamadas cenizas volantes.
- Las cenizas volantes, un tipo de partículas finas y ligeras, se recogen mediante dispositivos de control de la contaminación, como precipitadores electrostáticos o filtros de bolsas. Estos dispositivos están meticulosamente diseñados para eliminar de manera eficiente las partículas suspendidas en los gases de combustión, minimizando así la emisión de cenizas volantes al medio ambiente y ayudando a mitigar la contaminación del aire. Después de ser recolectadas, las cenizas volantes se guardan en silos o contenedores para su posterior procesamiento o distribución.



- El proceso industrial de calcinar piedra caliza, un mineral compuesto principalmente de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), se utiliza a menudo para producir cal viva (óxido de calcio,  $\text{CaO}$ ). El proceso se produce dentro de hornos de cal, que son construcciones expansivas diseñadas para alcanzar y mantener altas temperaturas, que a menudo oscilan entre 900 y 1000 grados Celsius. La piedra caliza sufre una degradación térmica, denominada calcinación, cuando se expone a altas temperaturas.
- Un control preciso del proceso de calcinación es esencial para asegurar un calentamiento constante y completo de la piedra caliza, lo que lleva a una transformación sustancial del carbonato de calcio en óxido de calcio. Garantizar un calentamiento constante es fundamental para evitar el desarrollo de impurezas en la cal viva, que podrían comprometer su calidad y, por tanto, su eficacia en usos industriales. Una vez finalizado el proceso de calcinación, la cal viva se enfría rápidamente para detener la reacción y mantener su reactividad. Posteriormente, el material se pulveriza hasta obtener un polvo fino para obtener un producto con un determinado tamaño de partícula. Luego se clasifica según sus dimensiones y nivel de pureza. La cal viva se vende en grandes cantidades para su uso en muchas industrias.
- La cal viva se utiliza mucho en la construcción por muchos motivos, principalmente en la producción de morteros y para mejorar la estabilidad del suelo. Además, tiene una función vital en el sector metalúrgico, concretamente en la fabricación de acero, donde se utiliza para eliminar impurezas durante el proceso de refinado del metal. Además, se utiliza en el campo del tratamiento de aguas residuales por sus cualidades químicas que le permiten neutralizar ácidos y erradicar contaminantes.
- La adquisición de cenizas volantes y la producción de cal viva son esenciales en la industria contemporánea, ya que proporcionan elementos cruciales necesarios para una amplia gama de usos industriales y de construcción. La calidad de estos artículos depende principalmente del control del proceso, la selección meticulosa de la materia prima y la eficacia del equipo de fabricación. Para verificar que los artículos terminados

cumplan con los estándares particulares para el propósito previsto, se realizan controles de calidad integrales en cada paso del proceso.

### Ensayos en laboratorio

i. Contenido de humedad:

El contenido de humedad es una característica básica que cuantifica la cantidad de agua contenida en un material, como el suelo, la madera, los alimentos, los textiles o cualquier otro sólido poroso. Este valor a menudo se representa como un porcentaje del peso total de la sustancia, ya sea que esté húmeda o seca.

Para tener una comprensión más completa del contenido de humedad, es crucial diferenciar entre los dos enfoques principales para describirlo: Esta técnica se utiliza principalmente en los campos de la geotecnia y la construcción, donde comprender el comportamiento del suelo o los materiales de construcción en condiciones secas es crucial para garantizar la integridad estructural.

Se utilizan procesos de laboratorio para probar el contenido de humedad y el método específico utilizado depende de las propiedades del material y del nivel de precisión deseado. El método de secado en horno se utiliza a menudo para determinar el contenido de humedad de un producto. Este procedimiento implica cuantificar la masa de una muestra del material antes y después de someterla a temperaturas reguladas, que generalmente oscilan entre 100 °C y 110 °C, hasta que alcance una masa estable. La diferencia de peso observada antes y durante el proceso de secado está estrechamente relacionada con la cantidad de agua contenida en la muestra, lo que ayuda a determinar su contenido de humedad. Técnicas adicionales que pueden usarse incluyen la utilización de sensores de humedad, que miden el contenido de agua mediante conductividad eléctrica, capacidad dieléctrica o absorción de microondas. Además, determinadas sustancias pueden tratarse mediante métodos químicos.

El contenido de humedad tiene un impacto directo sobre determinadas características del material. En el contexto de los suelos, la porosidad afecta características



como densidad, cohesión, capacidad de carga y respuesta a las fuerzas aplicadas. El contenido de humedad de los materiales de construcción, como la madera, afecta directamente su integridad estructural, rigidez y susceptibilidad a la deformación o fractura. El nivel de humedad es de suma importancia en el sector alimentario ya que afecta directamente a la conservación, textura y sabor de los productos. Además, afecta la durabilidad de los objetos y su susceptibilidad a la proliferación microbiana.

Por lo tanto, es crucial regular y supervisar eficientemente la cantidad de humedad en diferentes entornos industriales y científicos. Garantizar que los niveles de humedad en los materiales de construcción sean los mejores es crucial para evitar problemas como el deterioro estructural, el rápido crecimiento de moho o la corrosión. Controlar eficientemente los niveles de humedad del suelo es esencial en la agricultura para optimizar el desarrollo de las plantas e impulsar el riego. La regulación precisa de los niveles de humedad en el negocio alimentario es crucial para garantizar la excelencia y la integridad del producto final.

El contenido de humedad es un indicador crucial del contenido de agua en una sustancia, lo que tiene un impacto sustancial en sus características y comportamientos. Su medición precisa es esencial en muchas.

## ii. Ensayo de límites de consistencia:

La prueba de límite de consistencia es una serie de investigaciones realizadas en suelos finos, particularmente arcillosos, para determinar sus características plásticas y su respuesta a diferentes niveles de humedad. La ingeniería geotécnica utiliza estos ensayos para obtener información crucial sobre la capacidad del suelo para soportar la deformación sin romperse, su capacidad para resistir tensiones cortantes y su estabilidad. Estos datos tienen un impacto significativo en el diseño y la construcción de diversos proyectos de infraestructura, incluidos cimientos, carreteras y represas.

La capacidad de campo se refiere a la cantidad mínima de agua requerida para que el suelo alcance un estado de fluidez y pierda su integridad estructural cuando se somete



a ciertas circunstancias de prueba, como sacudidas o golpes ligeros. La prueba se realiza mediante un dispositivo llamado copa Casagrande, donde se coloca una muestra de suelo y se expone a una secuencia de impactos regulados.

El límite plástico es el contenido de humedad a partir del cual los cilindros comienzan a fracturarse y desintegrarse al manipularlos. Esta prueba mide la flexibilidad del suelo, que se refiere a su capacidad de sufrir deformaciones sin fracturarse bajo tensiones externas.

Dejando de contraerse más mientras continúa perdiendo agua. Esta prueba en particular es algo poco común en comparación con otras; sin embargo, proporciona información útil sobre la alteración del volumen del suelo durante el proceso de secado. La determinación implica secar una muestra de suelo húmedo en un recipiente designado y medir la disminución de volumen a medida que el agua se evapora. La importancia de este umbral es especialmente evidente en suelos que son susceptibles a fluctuaciones sustanciales de volumen, como las arcillas expansivas. Estos suelos tienen el potencial de causar daños estructurales sustanciales como resultado de su contracción o expansión.

La consolidación de estas limitaciones en la coherencia ayuda a categorizar los suelos en función de su maleabilidad y respuesta mecánica a diversos grados de humedad. Los ingenieros confían en estos datos para pronosticar con precisión el comportamiento del suelo bajo diferentes situaciones de carga o cambios en los niveles de humedad causados por variables como la lluvia, las fluctuaciones del nivel freático o el drenaje.

Se ve significativamente afectada por las limitaciones impuestas por la consistencia del suelo. Estas categorías se utilizan para evaluar la idoneidad de un suelo para ciertos proyectos y para formular estrategias de mejora o remediación, como la utilización de cal o cemento para mejorar la estabilidad.

La prueba de límite de consistencia es una serie de investigaciones que brindan una comprensión significativa de las características plásticas y la durabilidad de los suelos finos. Estas pruebas permiten a los ingenieros geotécnicos evaluar la respuesta del suelo



a diferentes niveles de humedad, un factor crucial en la construcción segura y eficaz de infraestructura.

### iii. Ensayo de análisis granulométrico:

El análisis de tamiz se utiliza principalmente para suelos granulares, es decir, grava y arena, que incluyen partículas de más de 0,075 mm (malla No. 200). En este experimento, la muestra de suelo que ha perdido agua se pasa a través de una serie de tamices con aberturas cada vez más pequeñas, dispuestas en orden descendente de diámetro. Cada tamiz retiene partículas más grandes que su abertura, lo que permite que las partículas más pequeñas pasen al siguiente tamiz. Una vez finalizado el proceso de tamizado.

El análisis de sedimentación es un método utilizado para separar partículas pequeñas en suelos finos, como limos y arcillas, que son demasiado pequeñas para separarse de manera eficiente mediante tamices. En este experimento, la muestra de suelo se combina con agua, lo que permite que las partículas se asienten. El examen se rige por la Ley de Stokes. El texto aclara la relación entre la velocidad de sedimentación de partículas esféricas en un fluido y su tamaño, densidad y viscosidad del fluido. Un hidrómetro es un dispositivo que mide la concentración de partículas en suspensión a diferentes profundidades e intervalos de tiempo, permitiendo evaluar la distribución de tamaños de partículas microscópicas. El análisis de sedimentación, similar al análisis de tamizado, muestra los datos en forma de curva granulométrica.

La curva granulométrica es una herramienta esencial para analizar los resultados de la investigación granulométrica. El gráfico representa la fracción acumulada de partículas que atraviesan cada filtro o se asientan a determinadas velocidades. Permite a los ingenieros evaluar las características del suelo o material granular. Por ejemplo, un suelo que muestra una curva de tamaño de grano bien graduada, lo que sugiere una amplia variedad de tamaños de partículas, tiende a tener mayor densidad y mayor estabilidad cuando se expone a una carga. Por otro lado, un suelo con una curva mal graduada, que



indica que ciertos tamaños de partículas son más frecuentes, es más susceptible a problemas como erosión, licuefacción o capacidad restringida para soportar peso.

El estudio granulométrico es crucial para la selección de materiales de construcción, así como para la clasificación del suelo. Para una compactación y longevidad óptimas en la construcción de pavimentos, es esencial utilizar una mezcla de agregados con una distribución de granulometría adecuada. La granulometría se utiliza en la construcción de presas o rellenos de tierra para confirmar que los materiales poseen las propiedades necesarias para soportar el flujo de agua y mantener la estabilidad estructural.

La prueba de análisis del tamaño de partículas es un examen esencial que permite a los ingenieros y científicos del suelo.

#### iv. Proctor modificado:

Este ensayo permite evaluar la compactabilidad del suelo en condiciones controladas. La importancia de esta prueba en proyectos de edificación reside en su capacidad para determinar el grado de compactación necesario para alcanzar una determinada densidad. Es fundamental garantizar la estabilidad y durabilidad de estructuras como carreteras, aeropuertos, presas y cimientos.

La prueba Proctor modificada es una versión mejorada de la prueba Proctor estándar, diseñada principalmente para simular condiciones de compactación más estrictas que a menudo se observan en proyectos de construcción desafiantes. La principal diferencia entre el Proctor modificado y el normal está en la cantidad de energía de compactación utilizada durante la prueba, que es mucho mayor en el Proctor modificado. Esto se logra utilizando un martillo más grande y aumentando la distancia vertical de caída.

El procedimiento de prueba Proctor mejorado se implementa de la siguiente manera:

El procedimiento para preparar una muestra de suelo consiste en recolectar una muestra representativa del suelo a estudiar y luego dejarla secar al aire hasta que alcance un nivel de humedad determinado y predefinido. Luego, el suelo se tamiza cuidadosamente



para eliminar las partículas grandes, asegurándose de que la muestra utilizada tenga un tamaño máximo adecuado, generalmente menos de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  de pulgada).

La muestra de suelo se divide en muchas submuestras, cada una de las cuales se mezclará con diferentes cantidades de agua para producir ciertos niveles de humedad. Este rango específico de humedad permite la formación de una curva que crea una correlación entre la densidad del suelo en su estado seco y su contenido de humedad.

Durante el proceso de compactación, se añade una cierta cantidad de tierra al molde de compactación, que tiene un tamaño específico. Luego, el material se compacta en cinco capas, y cada capa se somete a 25 golpes con un martillo de 4,54 kg (10 lb) lanzado desde una altura de 457 mm (18 in). La energía de compactación total proporcionada es de 2700 kN·m/m<sup>3</sup>, que es aproximadamente 4,5 veces más que la energía utilizada en la prueba Proctor estándar.

Determinación de la densidad de un material cuando está completamente desprovisto de humedad: La densidad húmeda del suelo compactado se determina midiendo el volumen y peso de cada submuestra después de la compactación. Posteriormente, la muestra se seca para determinar su contenido de humedad, lo que permite calcular la densidad seca equivalente.

El contenido de humedad y la densidad seca que proporcionan los mejores resultados son cruciales para la compactación del suelo en el campo. Los ingenieros utilizan estos valores numéricos como punto de referencia para establecer criterios de compactación en la obra. En el proceso de compactación en campo, es fundamental que el suelo alcance o supere la densidad seca máxima que se ha determinado en el laboratorio. Al mismo tiempo, se debe controlar el contenido de humedad del suelo para aproximarse al valor óptimo. Esto asegura que el suelo sea lo suficientemente denso y estable para soportar las cargas estructurales esperadas y resistir los efectos de factores como la erosión y la deformación.

La prueba Proctor modificada es especialmente adecuada para proyectos de construcción que necesitan una compactación más estricta debido a cargas significativas

o condiciones ambientales difíciles. Ejemplos de tales proyectos incluyen la construcción de carreteras de alta capacidad, pistas de aeropuertos y estructuras diseñadas para acomodar grandes volúmenes. La energía de compactación mejorada utilizada en la prueba Proctor modificada permite la replicación de estas condiciones y garantiza que el suelo compactado en el campo se alinee con las especificaciones de diseño designadas.

En esencia, el examen Proctor modificado es una herramienta crucial en los ámbitos de la geotecnia y la ingeniería civil. Permite determinar las condiciones óptimas para la compactación del suelo mediante el uso de grandes cantidades de energía de compactación. Los resultados de las pruebas proporcionan atributos cruciales para garantizar la estabilidad y seguridad de las construcciones, confirmando que el suelo compactado en el campo puede soportar cargas y sostener variaciones ambientales en el tiempo.

#### v. CBR:

En la década de 1920, el Departamento de Transporte de California ideó la prueba CBR como un medio para evaluar eficazmente la idoneidad del suelo para su uso como base para pavimento. Desde entonces, se ha convertido en un estándar generalmente reconocido a nivel mundial.

##### Metodología para realizar la prueba California Bearing Ratio (CBR)

La prueba CBR se realiza en muestras de suelo compactado bajo condiciones controladas y puede completarse tanto en laboratorio como en campo. El procedimiento consta de las siguientes etapas:

Preparación de la muestra: se crea una muestra de suelo o material granular que se puede compactar en un molde cilíndrico que tiene dimensiones definidas. La compactación suele realizarse en tres fases, utilizando una cantidad determinada de golpes con un martillo estandarizado para producir una determinada densidad, que puede compararse con la densidad máxima alcanzada en el ensayo Proctor.



Modificación de la saturación (si es necesario): Con frecuencia, especialmente cuando se replican condiciones de alta humedad, la muestra se satura completamente con agua antes de realizar la prueba para evaluar la capacidad máxima de carga del suelo. La saturación se puede lograr sumergiendo la muestra en agua durante un cierto período de tiempo o aplicando una presión de agua controlada.

Penetración: Después de la preparación de la muestra y, si es necesario, de su saturación, se realiza una prueba de penetración utilizando un pistón de acero estandarizado con un diámetro de 50 mm. El pistón se introduce en la superficie de la muestra a una velocidad constante de 1,25 mm por minuto. Se cuantifica y documenta la fuerza necesaria para alcanzar determinadas profundidades, normalmente 2,5 mm y 5,0 mm.

Cálculo de CBR: El valor de CBR se obtiene comparando la fuerza requerida para perforar una muestra de suelo con la fuerza requerida para penetrar una muestra de material de referencia, a menudo piedra triturada. Se cuantifica en porcentaje. Las fuerzas se evalúan en dos profundidades precisas: 2,5 mm y 5,0 mm. Luego se determina la fuerza más alta registrada y se la denomina CBR (Relación de carga de California) del suelo.

El CBR (California Bearing Ratio) se determina dividiendo la carga ejercida sobre el suelo a una determinada profundidad por la carga estándar para la misma profundidad en un material de referencia. Realice una operación de multiplicación por un factor de 100.

El California Bearing Ratio (CBR) se refiere a la carga estandarizada aplicada al suelo a una cierta profundidad de penetración, que luego se compara con la carga necesaria para la misma penetración en un material de referencia. Realice una operación de multiplicación por un factor de 100.

Examen y dilucidación de descubrimientos.

El valor CBR obtenido de la prueba proporciona una evaluación precisa de la capacidad del suelo para resistir una carga. Los suelos con valores de CBR inferiores al 10% generalmente se consideran inadecuados para uso directo como subbase o base en pavimentos. Estos suelos pueden necesitar estabilización o sustitución. Por el contrario,

los suelos con valores de CBR superiores al 50% exhiben una capacidad de carga excepcional y son adecuados para crear pavimentos duraderos, como pistas de aeropuertos o carreteras muy transitadas.

Además, los datos CBR se utilizan para determinar el espesor apropiado de las capas de pavimento. Después de determinar el valor CBR del suelo subyacente, los estudios empíricos han generado gráficos y tablas que pueden usarse para determinar el espesor necesario de la subbase, la base y la capa de rodadura necesarios para sostener el tráfico previsto.

### Aplicaciones y limitaciones

La prueba CBR se utiliza a menudo por su simplicidad y la relevancia directa de los resultados para el diseño de pavimentos. Sin embargo, también tiene limitaciones. Por ejemplo, no describe adecuadamente los efectos de las fluctuaciones a largo plazo en los niveles de humedad o la capacidad de los suelos finos de ser triturados bajo cargas repetidas. Además, el resultado puede variar dependiendo de la técnica utilizada para la preparación y saturación de la muestra, así como del tipo particular de suelo bajo investigación.

A pesar de sus limitaciones, las pruebas CBR siguen siendo una herramienta crucial en el campo de la ingeniería de pavimentos. Proporciona un método pragmático y eficaz para evaluar la capacidad de los suelos para soportar peso y diseñar sistemas de pavimento que sean fiables y duraderos.

- **Obtención de los materiales a dosificar en el estudio**

- **Obtención de cenizas volantes (CelsaSur):**

- Las cenizas volantes son un subproducto generado en las centrales termoeléctricas a partir de la combustión del carbón. En el proceso de generación de electricidad, el carbón es quemado a altas temperaturas, y las partículas finas que no se queman completamente son capturadas por filtros especiales, dando lugar a las cenizas volantes. Estas partículas,



ricas en sílice y alúmina, son altamente valoradas en la construcción, especialmente en la fabricación de concreto. En Juliaca, CelsaSur es una de las principales empresas encargadas de la distribución de cenizas volantes, aunque el material en sí es transportado desde otras regiones del Perú donde existen centrales termoeléctricas, como Ilo o Arequipa.

El proceso de incorporación de cenizas volantes en una subrasante (capa de soporte de una carretera) implica mezclarlas con los agregados de suelo para mejorar las propiedades mecánicas del pavimento. Las cenizas volantes se incorporan al suelo mediante técnicas de mezcla en seco o en húmedo. Este material actúa como estabilizador al mejorar la cohesión y la compactación del suelo, incrementando su capacidad de carga y reduciendo la permeabilidad. Para su transporte, las cenizas volantes son generalmente almacenadas en silos o sacos de gran capacidad (big bags) y son trasladadas en camiones cisterna o camiones de carga especializada, asegurando que el material llegue en condiciones óptimas para su aplicación. Una vez en el lugar, se dosifican en las cantidades necesarias y se mezclan con el suelo existente, utilizando maquinaria pesada como motoniveladoras y compactadoras.

### **Obtención de cal viva (IntiCal):**

La cal viva ( $\text{CaO}$ ) se obtiene a través de un proceso llamado calcinación, en el cual la piedra caliza es calentada en hornos industriales a temperaturas superiores a los  $900^{\circ}\text{C}$ . Durante este proceso, la piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) se descompone en óxido de calcio (cal viva) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). En Juliaca, la empresa IntiCal se especializa en la producción y distribución de cal viva, utilizando fuentes locales o regionales de piedra caliza. IntiCal opera hornos de calcinación que producen cal viva de alta pureza, que luego se distribuye en sacos de diversos tamaños o en envíos a granel, dependiendo de la necesidad del cliente.

El uso de cal viva en la estabilización de una subrasante es un método común para mejorar las propiedades del suelo, especialmente en suelos arcillosos. El procedimiento implica distribuir la cal viva sobre el terreno y mezclarla con el suelo mediante maquinaria

especializada, como motoniveladoras o mezcladoras de suelos. El óxido de calcio reacciona con el agua presente en el suelo, formando hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), lo que genera un aumento en la cohesión del suelo y una mejora significativa en su resistencia. Este proceso también reduce la plasticidad del suelo y su capacidad de absorción de agua, lo que aumenta la durabilidad del pavimento.

Para la logística y transporte, la cal viva es envasada en sacos de 25 a 50 kg o en grandes contenedores para envíos a granel. Se transporta desde las plantas de IntiCal hasta el sitio de aplicación mediante camiones especializados, que aseguran la conservación del material. Durante su aplicación, se deben tomar medidas de seguridad para evitar el contacto directo con la piel y los ojos, ya que la cal viva es altamente reactiva con el agua.

#### **Obtención y traslado de los materiales (CelsaSur e IntiCal):**

Tanto las cenizas volantes como la cal viva deben ser transportadas desde sus plantas productoras hasta los lugares de aplicación en Juliaca. Estos materiales son adquiridos a través de distribuidores locales como CelsaSur (para cenizas volantes) y IntiCal (para cal viva), que gestionan los pedidos de los contratistas o clientes. La cal viva es fabricada por IntiCal en plantas cercanas a yacimientos de piedra caliza, mientras que las cenizas volantes son importadas de zonas con centrales termoeléctricas.

El traslado se realiza principalmente en camiones cisterna (en el caso de las cenizas volantes) o en camiones de carga para la cal viva y las cenizas en sacos o big bags. Estos camiones están diseñados para transportar grandes volúmenes de material, asegurando su entrega en condiciones adecuadas. En la obra, el material se almacena temporalmente hasta su aplicación, manteniéndose protegido de la humedad en el caso de la cal viva y del viento en el caso de las cenizas volantes.

En resumen, CelsaSur e IntiCal facilitan la adquisición y distribución de estos materiales esenciales en Juliaca, garantizando su calidad y aplicabilidad para proyectos de infraestructura como la estabilización de subrasantes.



### 3.8 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos es la primera fase en la que los datos recopilados durante una investigación se preparan y organizan para su posterior análisis. Este proceso incluye varios pasos cruciales, como la validación de la calidad de los datos, que implica identificar y corregir errores o inconsistencias, y la codificación de datos, que convierte las respuestas cualitativas en representaciones numéricas o categóricas que son más fáciles de analizar. La investigación cuantitativa implica el proceso de normalizar datos para garantizar su compatibilidad y comparabilidad. Durante el proceso de investigación cualitativa, la etapa de procesamiento incluye actividades como transcribir entrevistas y categorizar sujetos. El objetivo principal del procesamiento es transformar los datos sin procesar en un conjunto de datos estructurado y pulido que esté listo para el análisis.

Una vez que se han procesado los datos, se pasa al paso de análisis, cuando se utilizan varios enfoques estadísticos o interpretativos para extraer información importante y responder las preguntas de la investigación. Los estudios cuantitativos utilizan métodos estadísticos como regresión, análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de hipótesis para identificar patrones, correlaciones y discrepancias en los datos. Este análisis permite derivar inferencias y conclusiones utilizando los datos numéricos obtenidos. Los estudios cualitativos suelen utilizar un enfoque interpretativo del análisis, utilizando enfoques como el análisis temático, la codificación abierta o el análisis de contenido. Estas tácticas incluyen examinar cuidadosamente los datos para identificar temas repetidos, patrones de comportamiento o significados subyacentes. El análisis de datos es crucial en ambas técnicas, ya que es necesario para producir hallazgos confiables y bien fundamentados que estén en línea con los objetivos de la investigación.

El análisis de datos abarca el uso de técnicas estadísticas o interpretativas, junto con la difusión efectiva y relevante de los resultados al público objetivo. Esto implica la creación de tablas, gráficos y resúmenes explicativos que ayuden a comprender los



hallazgos. Los estudios cuantitativos suelen presentar datos mediante el uso de medidas de tendencia central, dispersión y pruebas de significancia. Estas tácticas ayudan a comprender la magnitud y orientación de las correlaciones observadas. La investigación cualitativa a menudo comunica sus hallazgos a través de narrativas intrincadas o extractos meticulosamente seleccionados que ilustran temas esenciales.

En última instancia, el proceso de análisis de datos alcanza su punto máximo con la interpretación de los resultados, que se realiza con base en los supuestos o preguntas de investigación originales. Dentro de este marco, los investigadores evalúan minuciosamente la importancia de sus hallazgos, teniendo en cuenta las posibles razones, las implicaciones prácticas y las limitaciones del estudio. La transformación de datos es un procedimiento esencial que transforma datos no procesados en información útil y significativa. Actúa como base para generar evaluaciones bien informadas, formular recomendaciones y señalar posibles temas para una mayor investigación.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Presentación y análisis de resultados

La fase del proceso de investigación que consiste en exponer y examinar los datos obtenidos se denomina presentación y análisis de resultados. La presentación se refiere a la disposición sistemática de la información de forma lúcida y comprensible, empleando tablas, gráficos y figuras para describir sucintamente los datos. El examen de los resultados implica la utilización de metodologías estadísticas e instrumentos cualitativos para evaluar los datos, detectar patrones, correlaciones y tendencias, y extraer conclusiones que respondan a las preguntas de la investigación o pongan a prueba las hipótesis. Esta etapa es esencial para presentar los datos y realzar las conclusiones del estudio.

##### a. Presencia de humedad

El contenido de humedad en un pozo de sondeo indica la cantidad de agua encontrada en el suelo excavado durante la inspección. El contenido de humedad en un pozo de sondeo es un determinante crucial que afecta a las propiedades físicas y mecánicas del suelo, como su capacidad de carga, cohesión y estabilidad.

**Tabla 4**

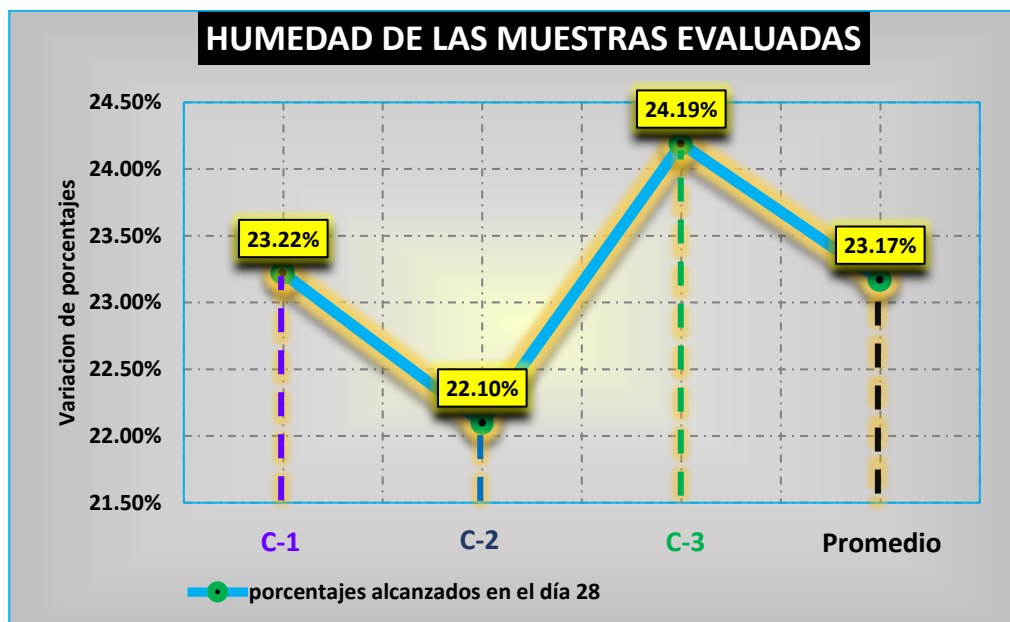
*Humedad presentada en las muestras recabadas*

Presencia de humedad en las muestras (%)	
Calicata	(%) Humedad
C_1	23.22
C_2	22.10
C_3	24.19
<b>Promedio</b>	<b>23.17</b>

En la tabla número 4 nos enseña las presencias de humedad en las diferentes muestras estudiadas, en las mismas podemos ver que la calicata numero 1 muestra una humedad de 23.22%, la calicata numero 2 muestra una humedad de 22.10% y finalmente la muestra 3 tiene una humedad de 24.19%.

**Figura 6**

*Humedad presente en las muestras*



A continuación, podemos recolectar los datos recabados a través de la experimentación, en el cual alcanzamos una humedad promedio de 23.17%.

### b. Análisis granulométrico

Figura 7

Granulometría de la muestra 1

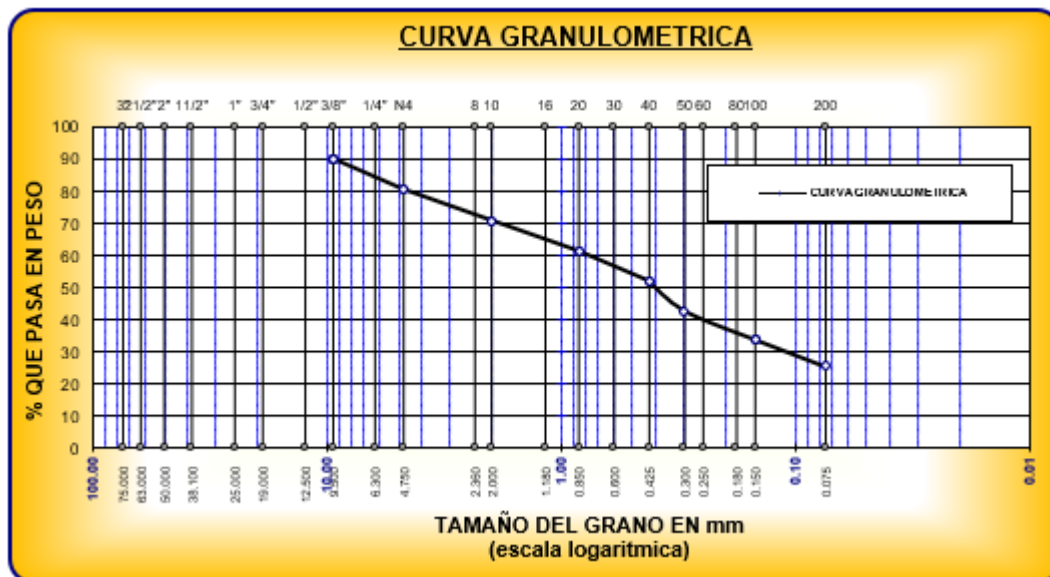
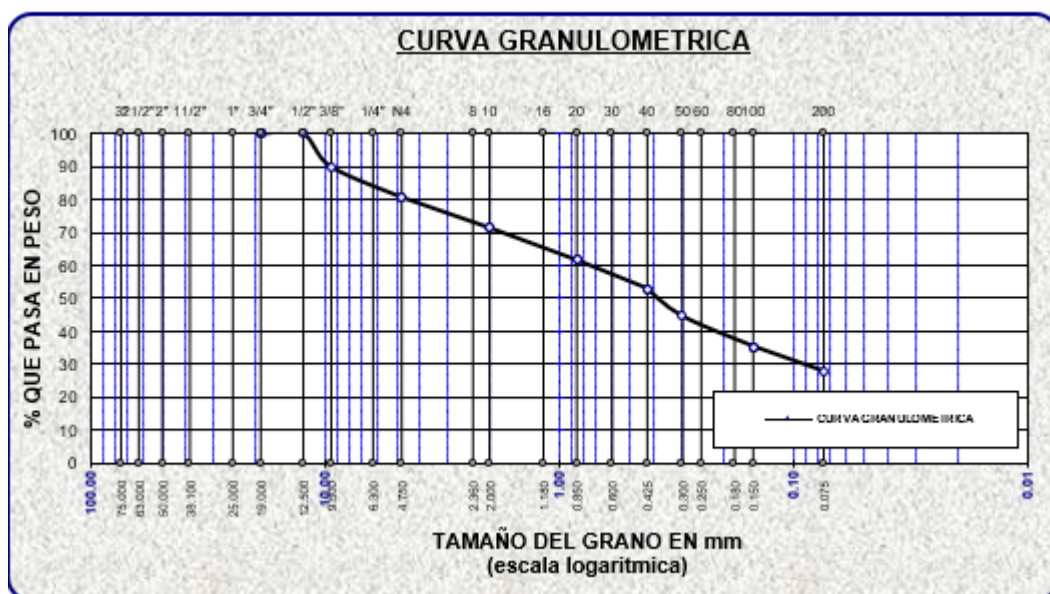


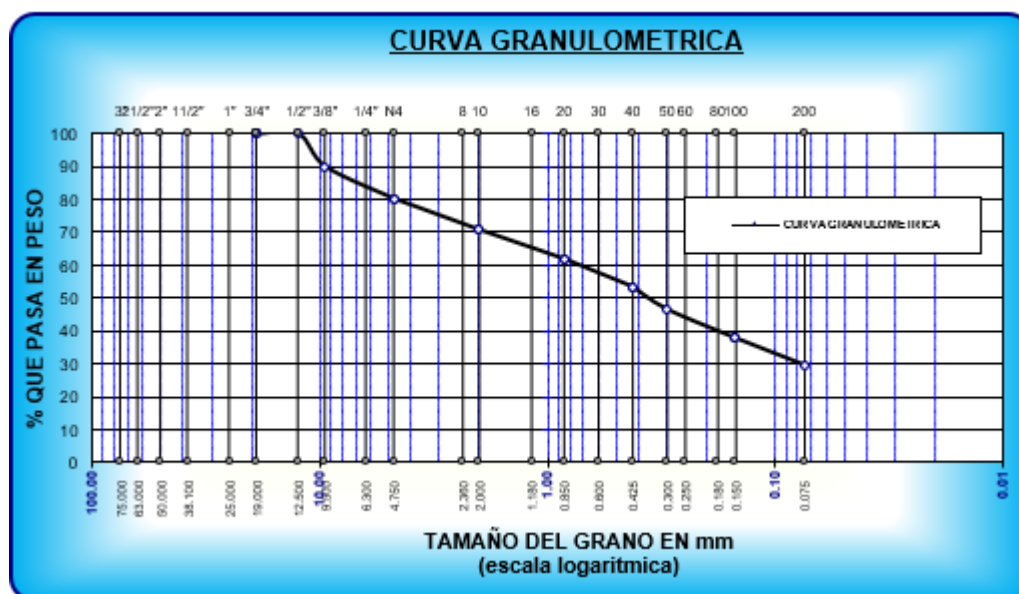
Figura 8

Granulometría de la muestra 2



**Figura 9**

*Granulometría de la muestra 3*



**c. Índice de plasticidad**

**Tabla 5**

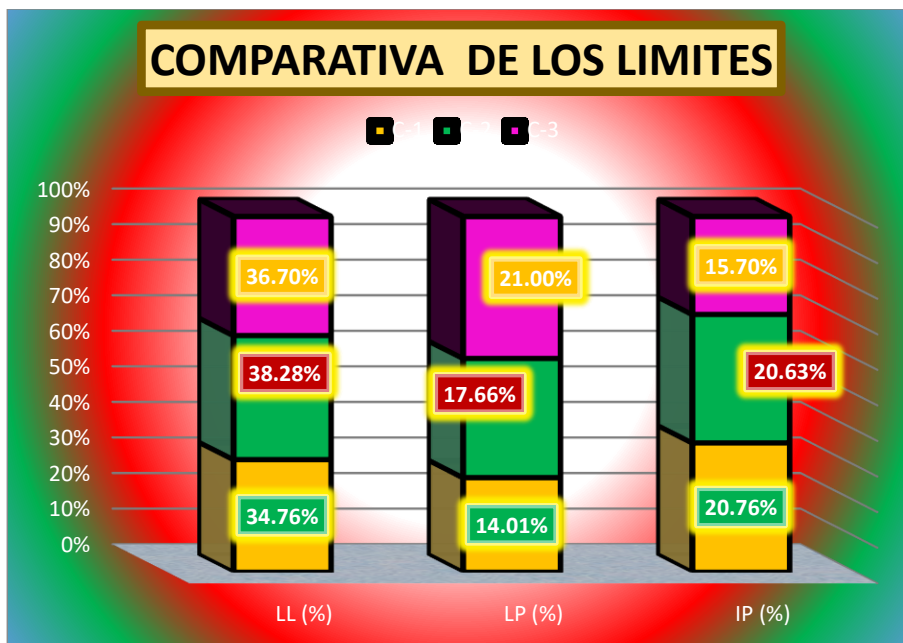
*Índice plástico de las muestras- naturales*

Calicata	Límites de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Cal.1	34.76%	14.01%	20.76%
Cal.2	38.28%	17.66%	20.63%
Cal.3	36.70%	21.00%	15.70%
<b>Prom.</b>	-	-	<b>19.03%</b>

La tabla enseña los resultados provenientes de las muestras extraídas de las calicatas realizadas en las zonas de estudio, por ende, los índices plásticos fueron los siguientes: la calicata 1 muestra un índice plástico de 20.76%, la calicata 2 tiene un índice plástico de 20.63% y finalmente la calicata 3 muestra un 15.70% de índice de plasticidad.

**Figura 10**

*Comparativa de los limites alcanzados*



Los resultados de los ensayos realizados sobre las muestras extraídas de distintas zonas en la vía Arapa – Achaya, en se pudo llegar a un promedio concerniente al índice plástico de 19.03%.

**d. Grado de compactación**

**Tabla 6**

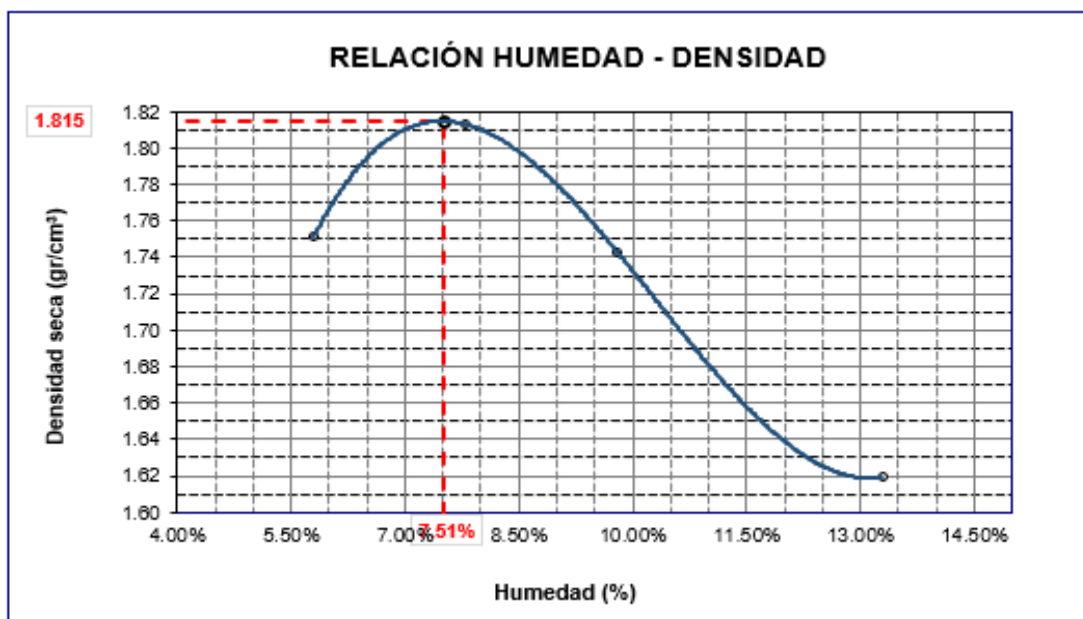
*Compactación y sus grados (subrasante)*

Grado de Compactación		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
Cal.1	1.815	7.51
Cal.2	1.806	7.74
Cal.3	1.790	8.55
<b>Prom.</b>	<b>1.804</b>	<b>7.933</b>

Se aprecia en la tabla las máximas densidades secas y humedades optimas de las muestras extraídas de las calicatas de la vía Arapa – Achaya, teniendo como promedio 1.804gr/cc en la máxima densidad seca y 7.933% de humedad optima.

**Figura 11**

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



**Figura 12**

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

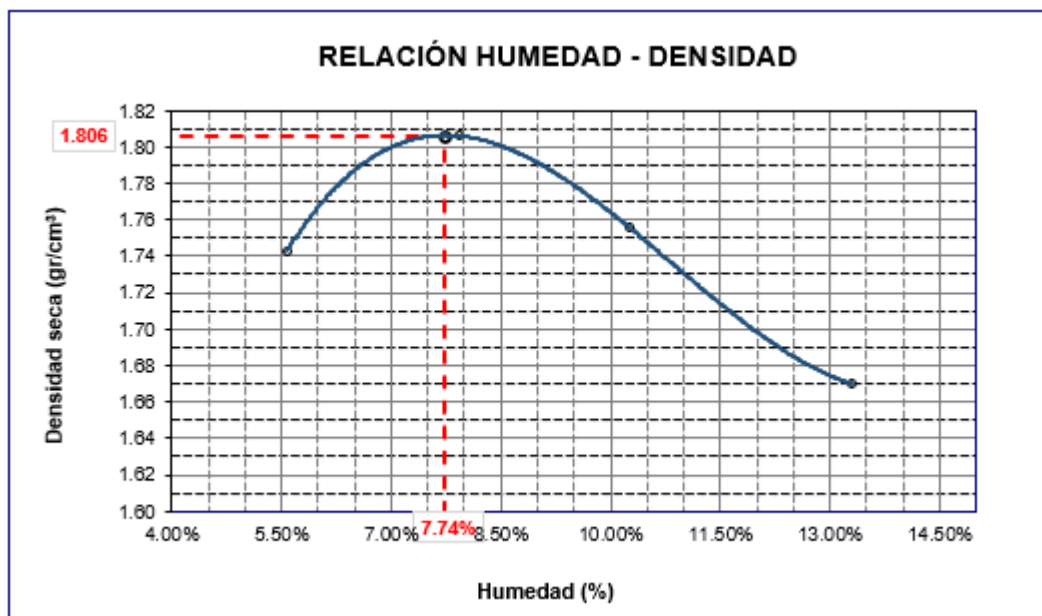


Figura 13

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

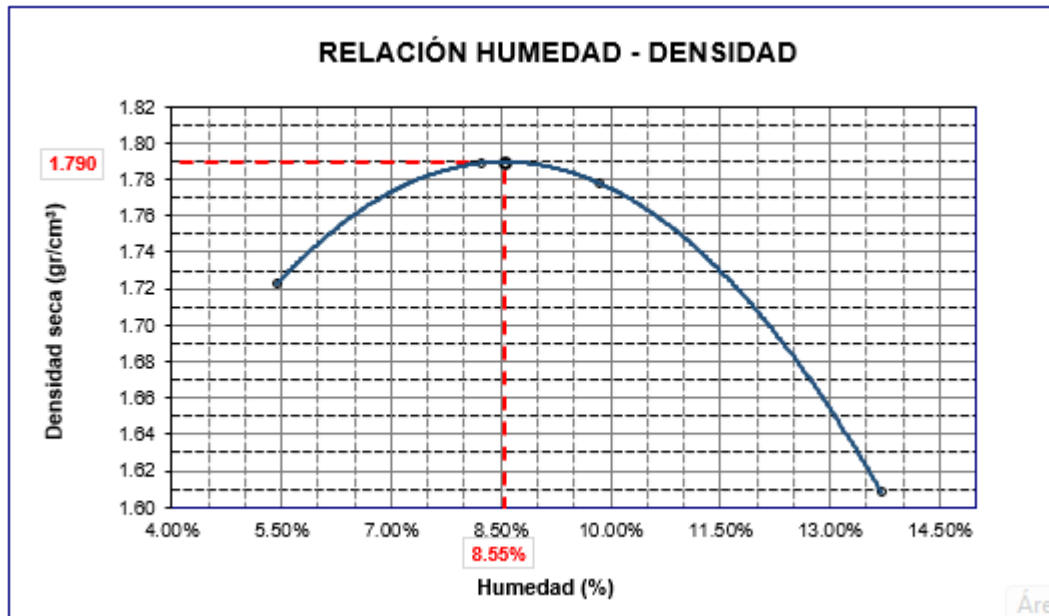
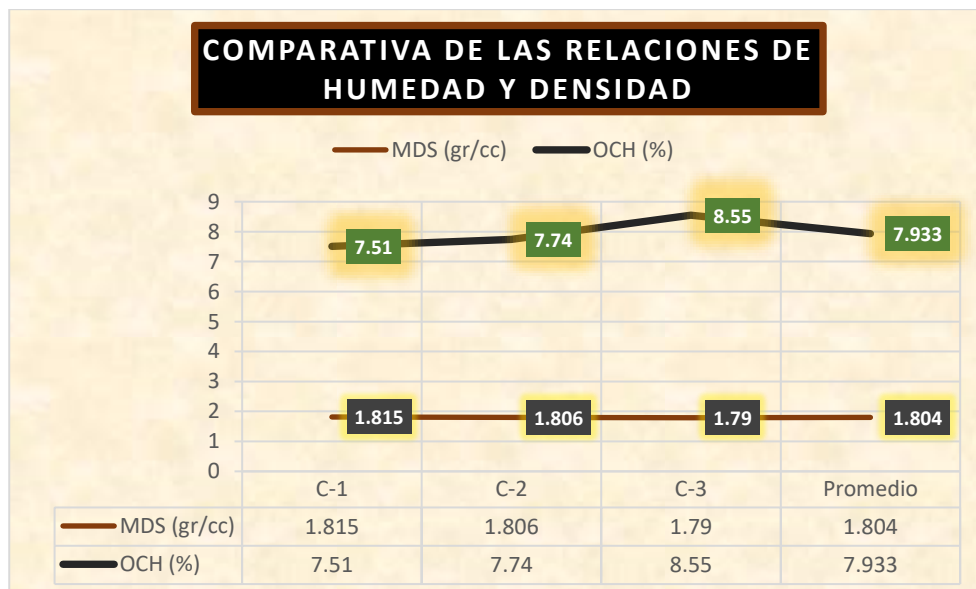


Figura 14

Comparativa de las relaciones entre humedad y densidad de los suelos



Los valores recabados y graficados en la figura son concernientes a la relación densidad de suelo y humedad del mismo obtenidas en el laboratorio, la cual nos da información detallada de los valores de cada calicata teniendo promedios idóneos.

### 4.1.1 Capacidad de soporte de la subrasante y afirmado de la vía

#### a. Capacidad de aguante de los especímenes

**Tabla 7**

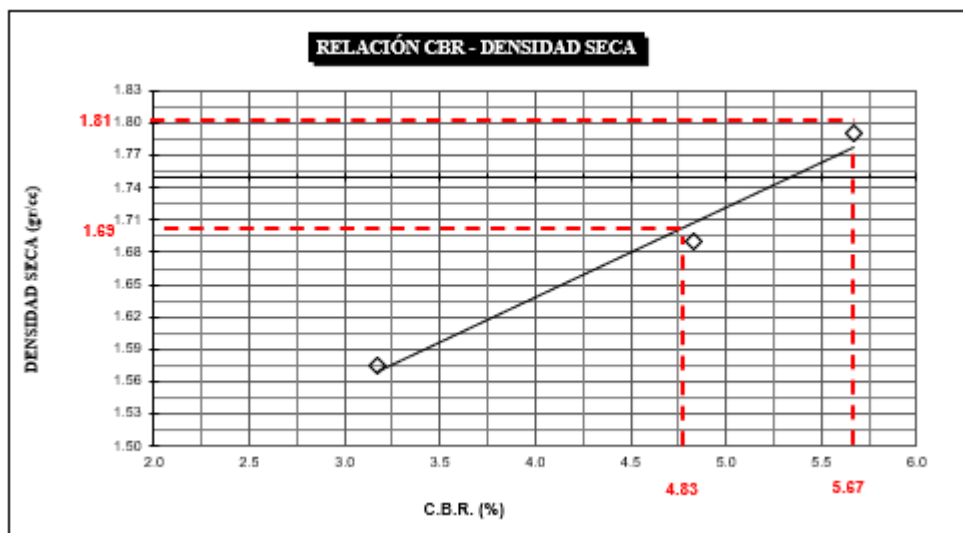
*Resultados de CBR de las calicatas*

CBR – Subrasante		
Exploración-Calicata	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	5.67	5.38
C-2	5.58	5.30
C-3	5.66	5.38
<b>Prom.</b>	<b>5.63</b>	<b>5.35</b>

En la tabla se aprecian las calicatas y sus valores respecto a los CBR al 100% y 95% teniendo como promedio final un 5.63% de CBR al 100%, y al promedio final de 5.35% de CBR al 95%.

**Figura 15**

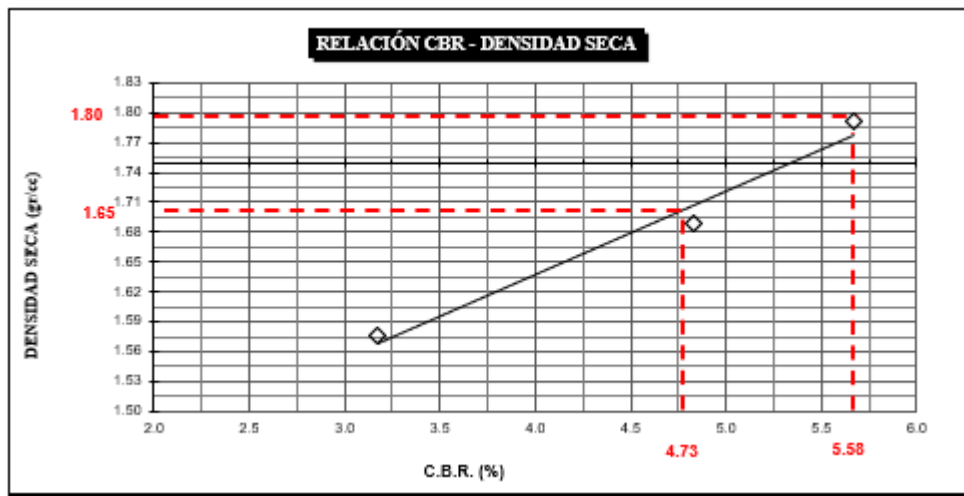
*Calicata número 1- CBR*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 1, el valor para la CBR 100% fue de 5.67% y la CBR al 95% fue de 4.83%.

**Figura 16**

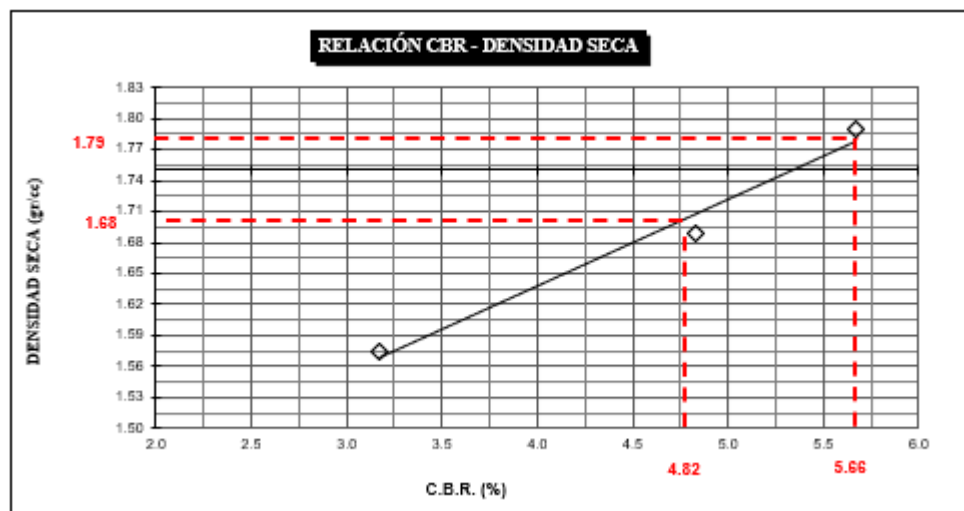
*Calicata número 2 - CBR*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 2, el valor para la CBR 100% fue de 5.58% y la CBR al 95% fue de 4.73%.

**Figura 17**

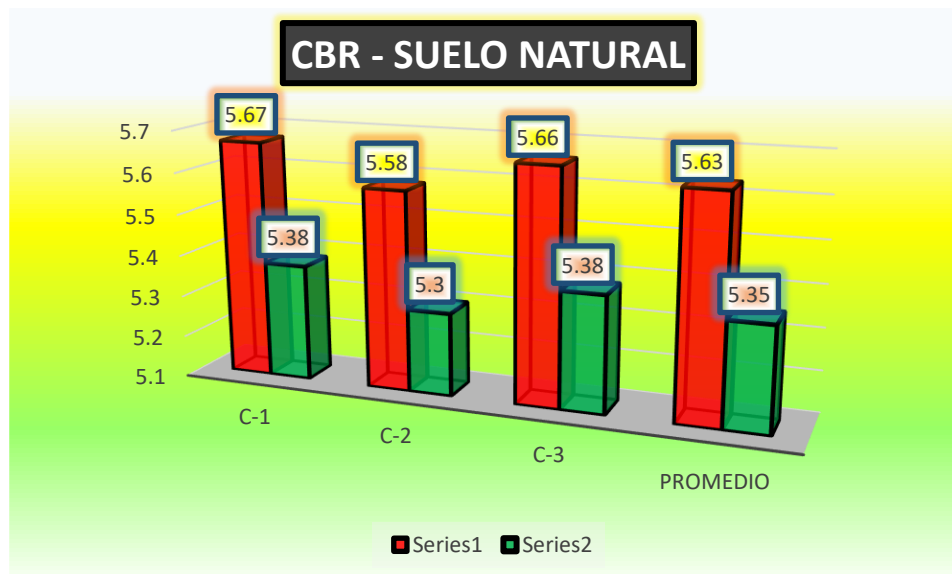
*Calicata número 3 - CBR*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 3, el valor para la CBR 100% fue de 5.66% y la CBR al 95% fue de 4.82%.

**Figura 18**

Comparativa de las CBR de la subrasante natural



Se logró divisar mediante la gráfica elaborada que la CBR de los suelos estudiados tuvieron diferentes comportamientos a lo largo de los ensayos, en la calicata 1 se observa un CBR al 100% de 5.67% y 5.38% al 95%, para la calicata número 2 se obtuvo al 100% un CBR de 5.58% y 5.30% al 95% y finalmente la muestra 3 alcanzó un CBR al 100% de 5.63% y para el 95% se obtuvo un 5.35%.

#### 4.1.2 Influencia de la utilización de cenizas volantes sobre la capacidad de soporte

Las cenizas volantes mejoran la capacidad de carga del suelo aumentando su cohesión y resistencia general mediante la creación de compuestos cementosos. Esta sustancia química disminuye la maleabilidad y compresibilidad de los suelos arcillosos, mejora la densidad y consolidación del suelo y le confiere mayor fuerza y resistencia a la humedad. En consecuencia, la tierra experimenta cambios que la hacen más propicia para soportar cargas y construir edificios.

### a. Capacidad de soporte + cenizas volantes 2.5%

**Tabla 8**

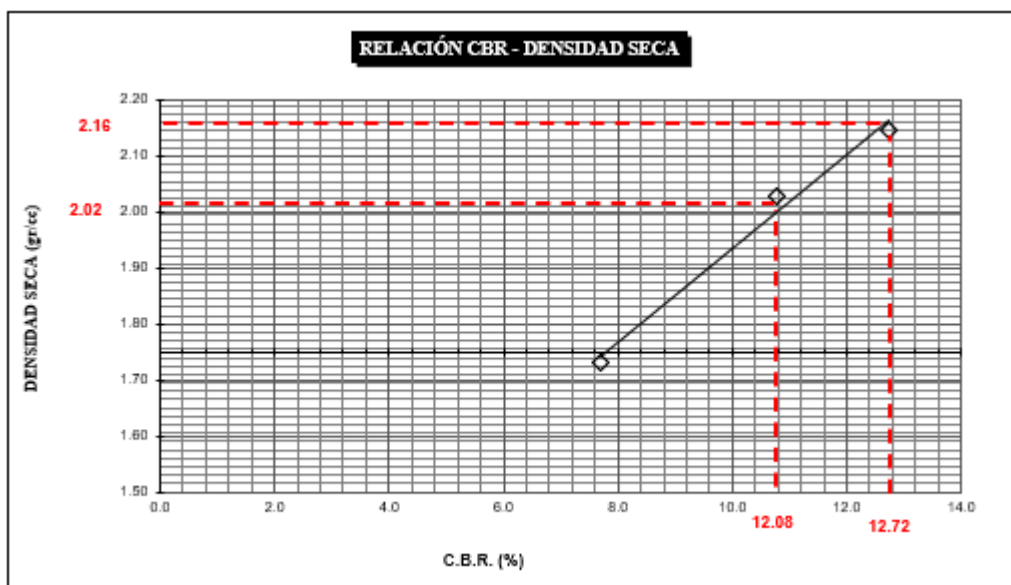
*Resultados de CBR de las calicatas + 2.5% cenizas volantes*

CBR – Subrasante		
Exploración-Calicata	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	12.72	12.08
C-2	12.41	11.79
C-3	13.17	12.51
<b>Promedio</b>	<b>12.77</b>	<b>12.13</b>

En la tabla se aprecian las calicatas y sus valores respecto a los CBR al 100% y 95% teniendo como promedio final un 12.77% de CBR al 100%, y al promedio final de 12.13% de CBR al 95%.

**Figura 19**

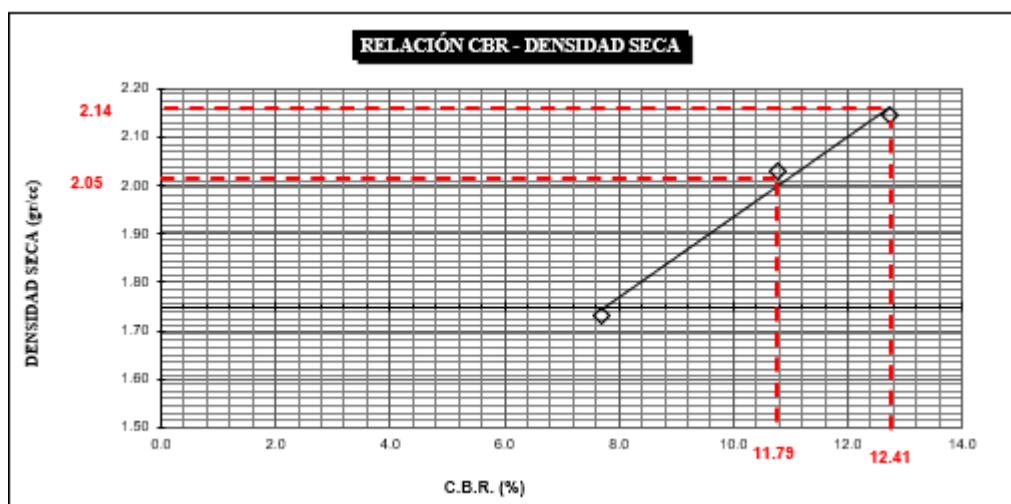
*Calicata número 1- CBR + ceniza volante 2.5%*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 1, el valor para la CBR 100% fue de 12.72% y la CBR al 95% fue de 12.08%.

### Figura 20

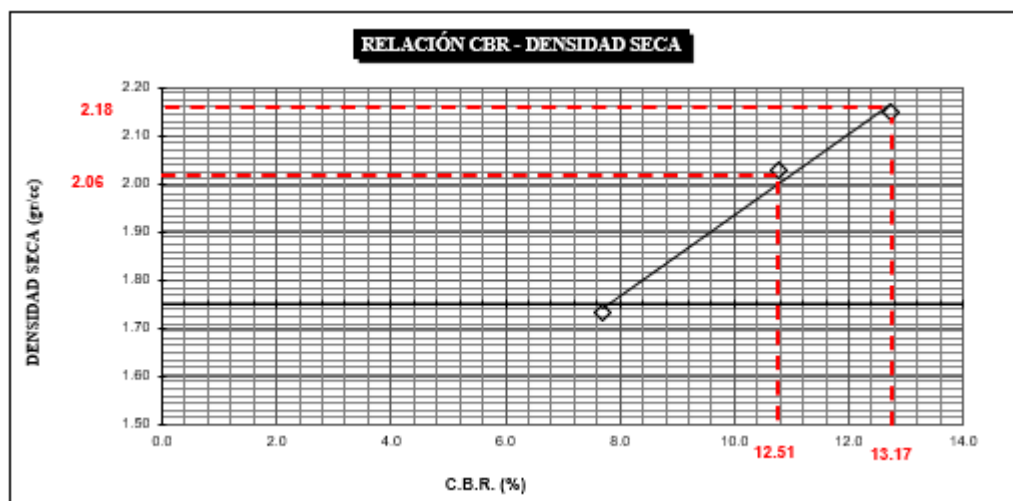
Calicata número 2 – CBR + ceniza volante 2.5%



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 2, el valor para la CBR 100% fue de 12.41% y la CBR al 95% fue de 11.79%.

### Figura 21

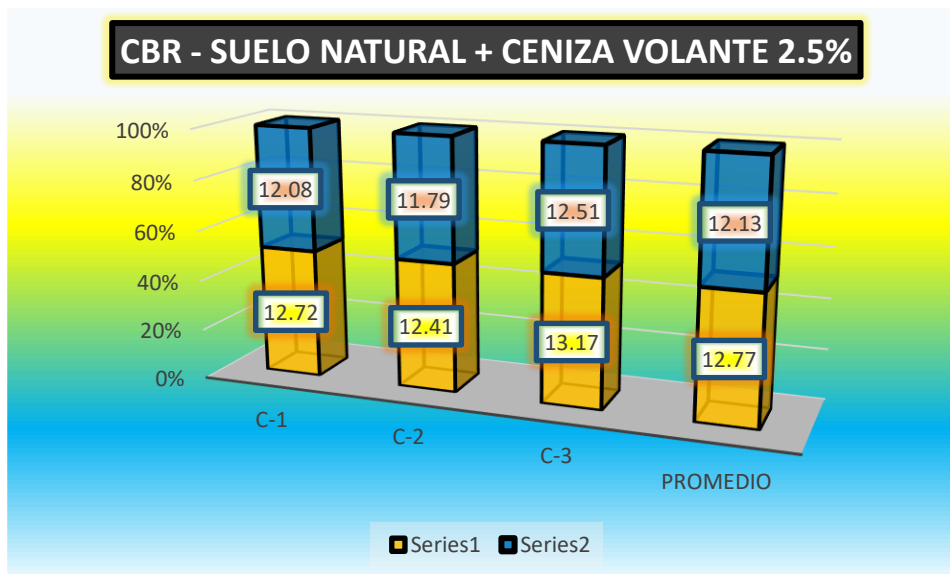
Calicata número 3 – CBR + ceniza volante en 2.5%



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 3, el valor para la CBR 100% fue de 13.17% y la CBR al 95% fue de 12.51%.

**Figura 22**

*Comparativa de las CBR de la subrasante natural + ceniza volante 2.5%*



Se logro divisar mediante la gráfica elaborada que la CBR de los suelos estudiados tuvieron diferentes comportamientos a lo largo de los ensayos, en la calicata 1 se observa un CBR al 100% de 12.72% y 12.08% al 95%, para la calicata número 2 se obtuvo al 100% un CBR de 12.41% y 11.79% al 95% y finalmente la muestra 3 alcanzo un CBR al 100% de 13.17% y para el 95% se obtuvo un 12.51%.

**b. Capacidad de soporte + cenizas volantes 3.5%**

**Tabla 9**

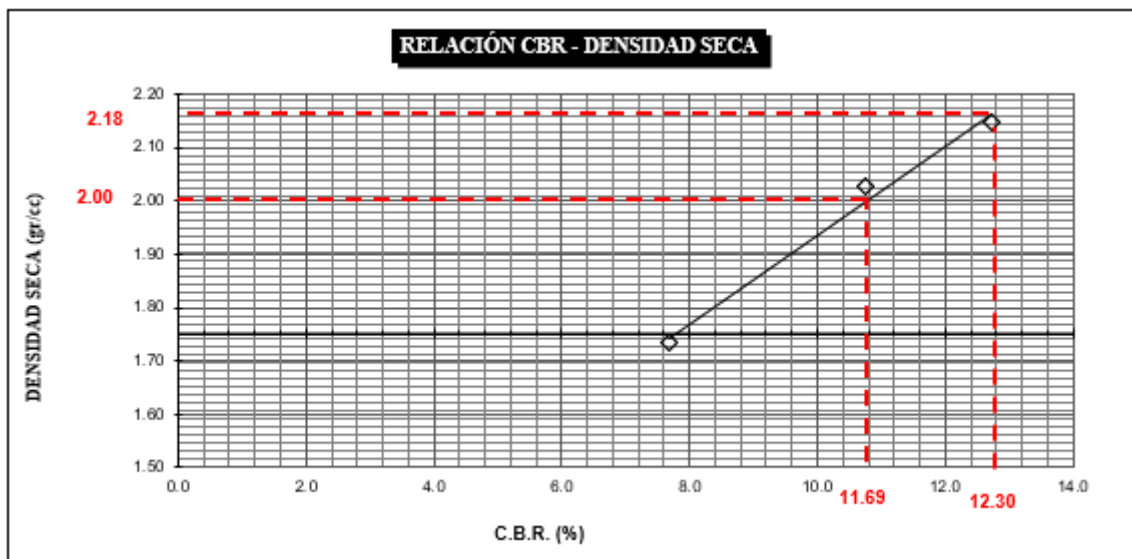
*Resultados de CBR de las calicatas + 3.5% cenizas volantes*

Exploración-Calicata	CBR – Subrasante	
	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	12.3	11.69
C-2	12.02	11.42
C-3	12.74	12.10
<b>Promedio</b>	<b>12.35</b>	<b>11.74</b>

En la tabla se aprecian las calicatas y sus valores respecto a los CBR al 100% y 95% teniendo como promedio final un 12.35% de CBR al 100%, y al promedio final de 11.74% de CBR al 95%.

### Figura 23

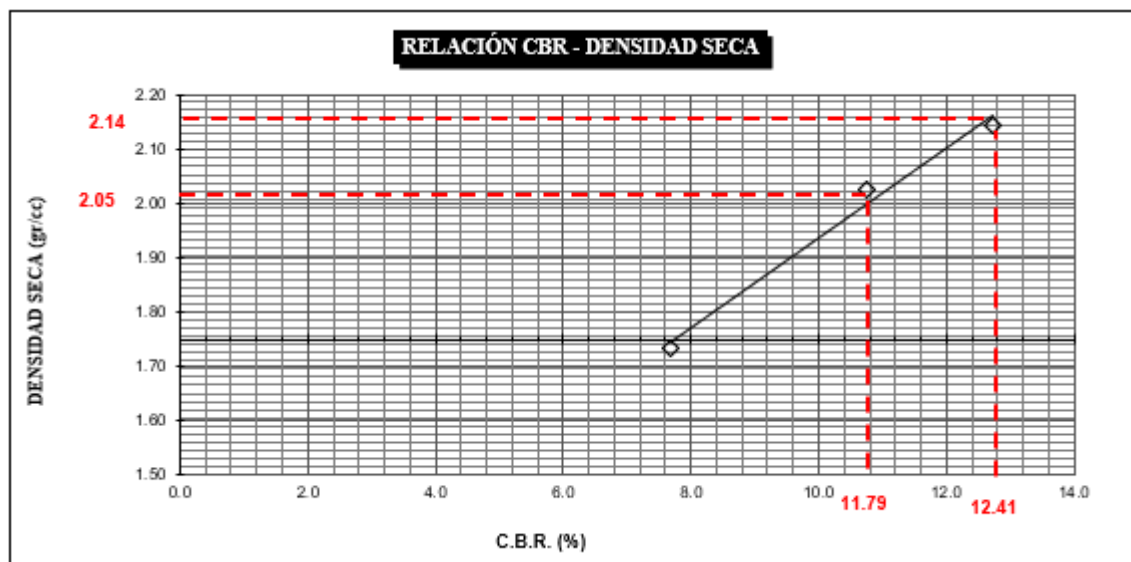
Calicata número 1- CBR + ceniza volante 3.5%



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 1, el valor para la CBR 100% fue de 11.45% y la CBR al 95% fue de 10.88%.

### Figura 24

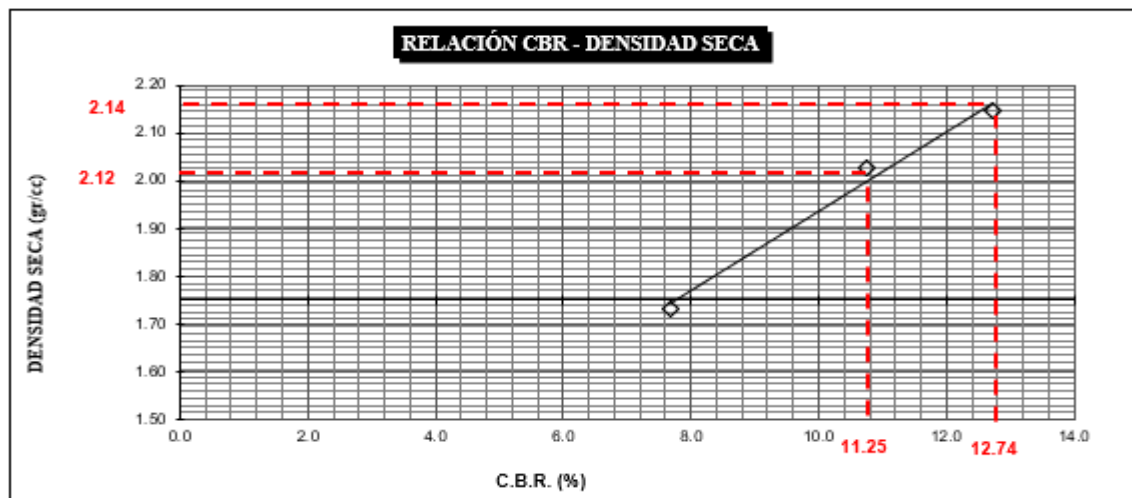
Calicata número 2 – CBR + ceniza volante 3.5%



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 2, el valor para la CBR 100% fue de 12.02% y la CBR al 95% fue de 11.79%.

**Figura 25**

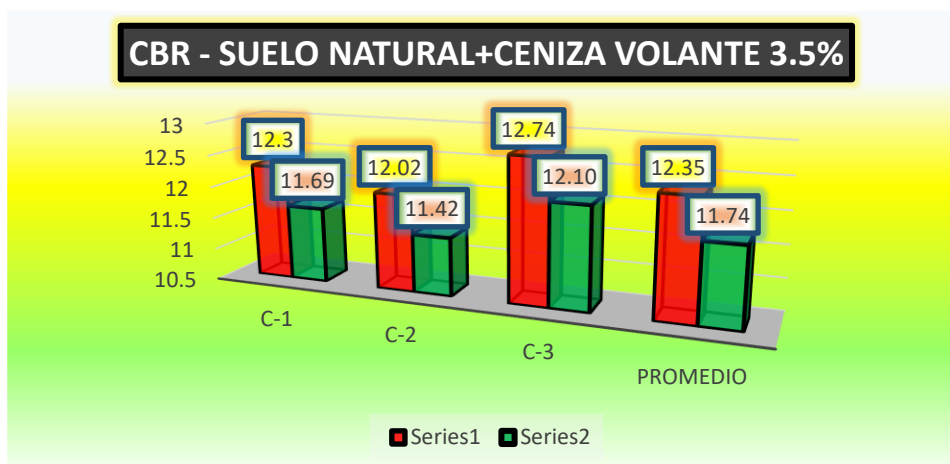
*Calicata número 3 – CBR + ceniza volante en 3.5%*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 3, el valor para la CBR 100% fue de 12.74% y la CBR al 95% fue de 11.25%.

**Figura 26**

*Comparativa de las CBR de la subrasante natural + ceniza volante 3.5%*



Se logro divisar mediante la gráfica elaborada que la CBR de los suelos estudiados tuvieron diferentes comportamientos a lo largo de los ensayos, en la calicata 1 se observa un CBR al 100% de 12.30% y 11.69% al 95%, para la calicata número 2 se obtuvo al 100% un CBR de 12.02% y 11.42% al 95% y finalmente la muestra 3 alcanzo un CBR al 100% de 12.74% y para el 95% se obtuvo un 12.10%.

### 4.1.3 Influencia de la utilización de cal viva sobre la capacidad de soporte

El efecto del uso de la cal viva en la capacidad portante se presenta a continuación:

#### a. Capacidad de soporte + cal viva 3%

**Tabla 10**

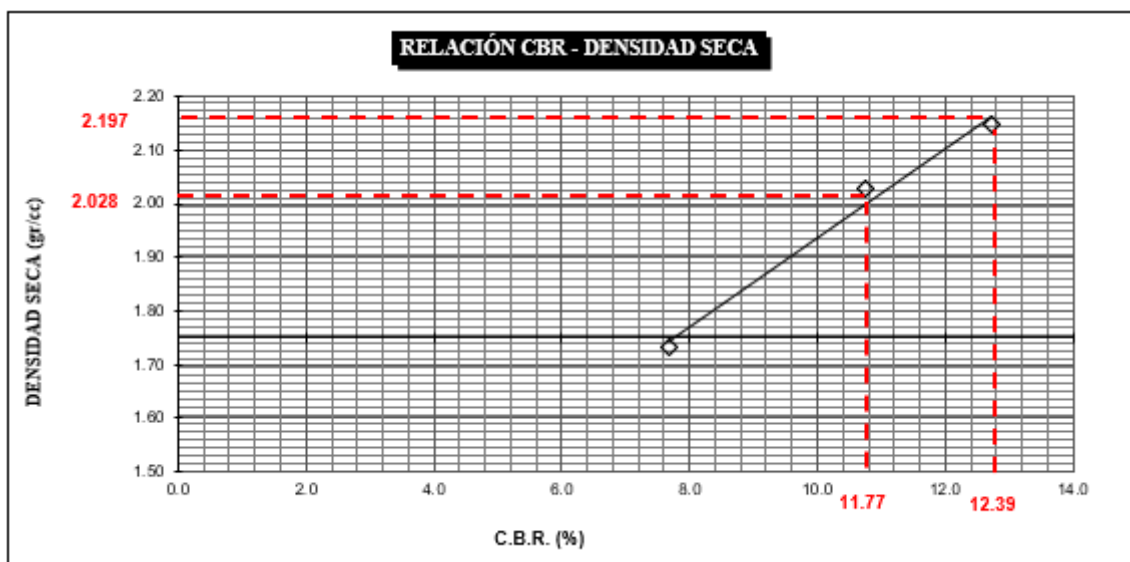
*Resultados de CBR de las calicatas + 3% cal viva*

CBR – Subrasante		
Exploración-Calicata	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	12.39	11.77
C-2	12.59	11.90
C-3	12.64	11.60
<b>Promedio</b>	<b>12.38</b>	<b>11.76</b>

Se aprecian los valores respecto a los CBR al 100% y 95% teniendo como promedio final un 12.38% de CBR al 100%, y al promedio final de 11.76% de CBR al 95%.

**Figura 27**

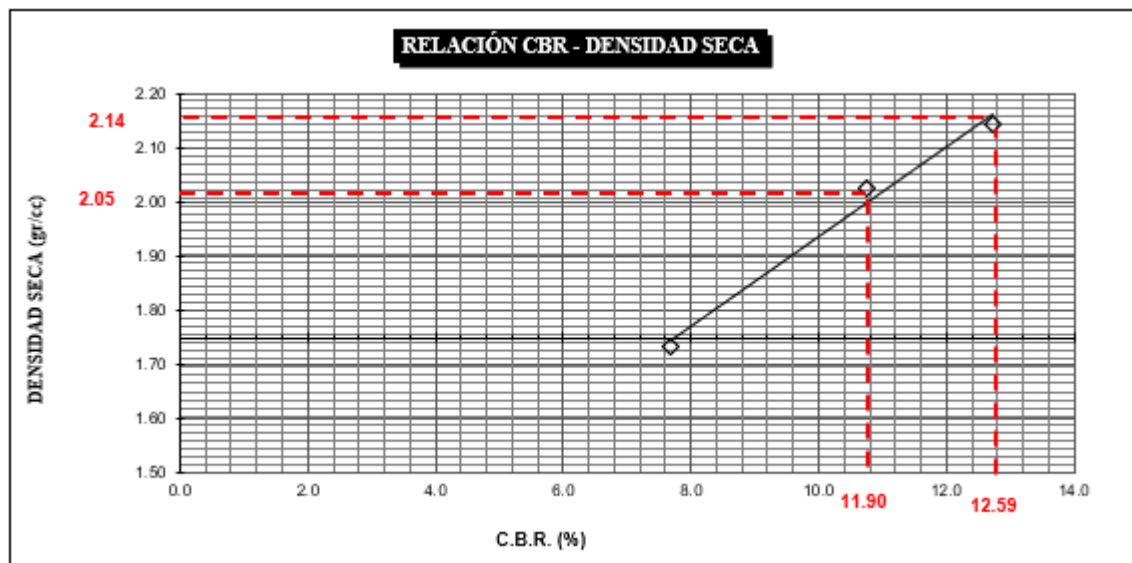
*Calicata número 1- CBR + cal viva 3%*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 1, el valor para la CBR 100% fue de 12.39% y la CBR al 95% fue de 11.77%.

**Figura 28**

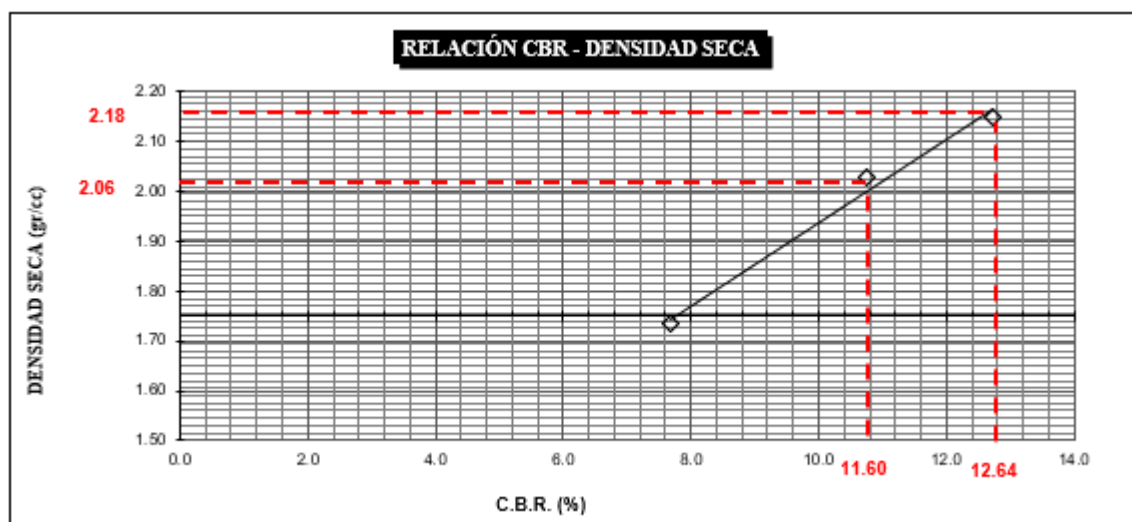
*Calicata número 2 – CBR + cal viva 3%*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 2, el valor para la CBR 100% fue de 12.59% y la CBR al 95% fue de 11.90%.

**Figura 29**

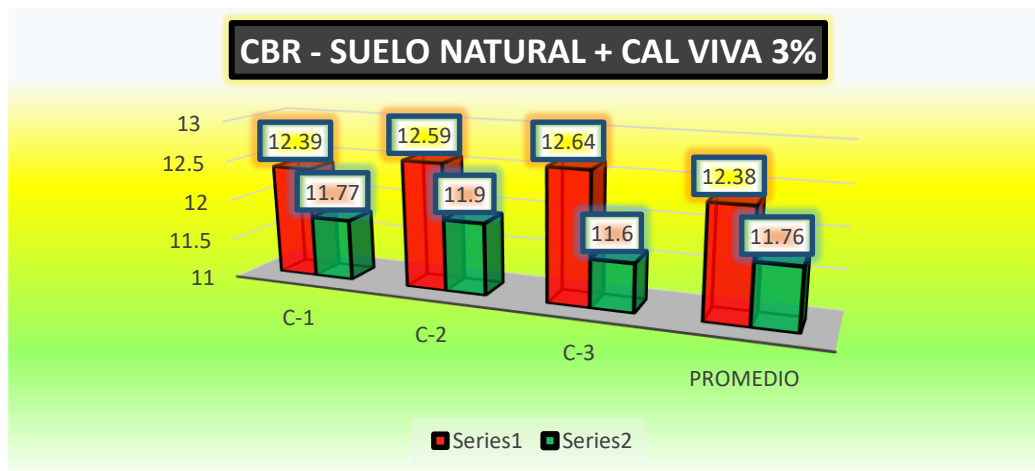
*Calicata número 3 – CBR + cal viva en 3%*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 3, el valor para la CBR 100% fue de 12.64% y la CBR al 95% fue de 11.60%.

**Figura 30**

*Comparativa de las CBR de la subrasante natural + cal viva 3%*



Se logro divisar mediante la gráfica elaborada que la CBR de los suelos estudiados tuvieron diferentes comportamientos a lo largo de los ensayos, en la calicata 1 se observa un CBR al 100% de 12.39% y 11.77% al 95%, para la calicata número 2 se obtuvo al 100% un CBR de 12.59% y 11.90% al 95% y finalmente la muestra 3 alcanzo un CBR al 100% de 12.64% y para el 95% se obtuvo un 11.60%.

**b. Capacidad de soporte + cal viva 4%**

**Tabla 11**

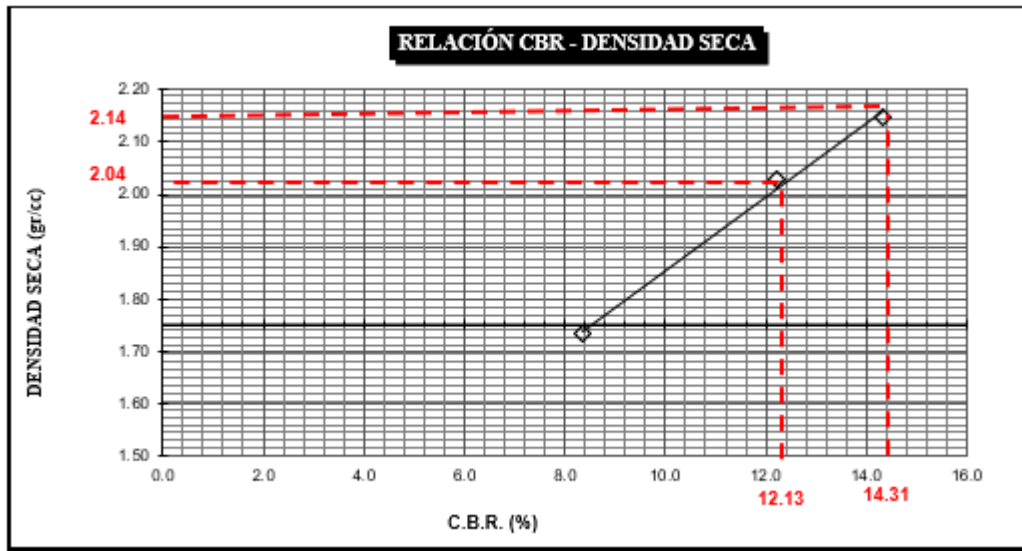
*Resultados de CBR de las calicatas + 4% cal viva*

CBR – Subrasante		
Exploración-Calicata	CBR - 100%	CBR - 95%
C-1	14.31	12.13
C-2	14.36	12.25
C-3	14.78	12.40
<b>Promedio</b>	<b>14.48</b>	<b>12.26</b>

En la tabla se aprecian las calicatas y sus valores respecto a los CBR al 100% y 95% teniendo como promedio final un 14.48% de CBR al 100%, y al promedio final de 12.26% de CBR al 95%.

**Figura 31**

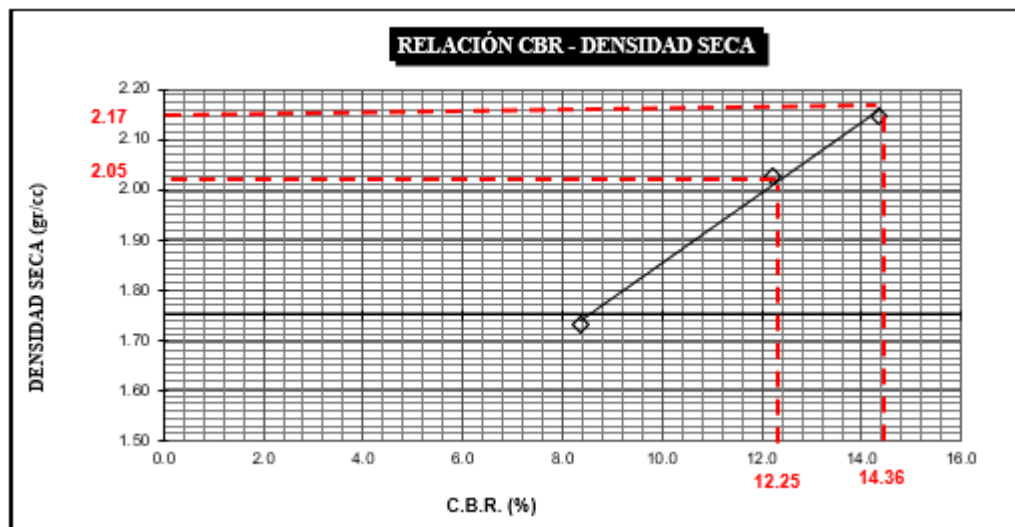
*Calicata número 1- CBR + cal viva 4%*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 1, el valor para la CBR 100% fue de 14.31% y la CBR al 95% fue de 12.13%.

**Figura 32**

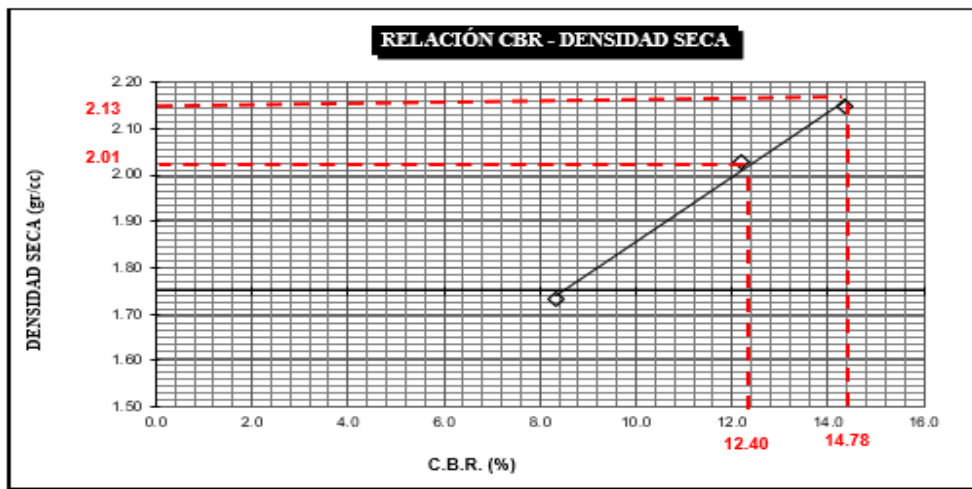
*Calicata número 2 – CBR + cal viva 4%*



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 2, el valor para la CBR 100% fue de 14.36% y la CBR al 95% fue de 12.25%.

**Figura 33**

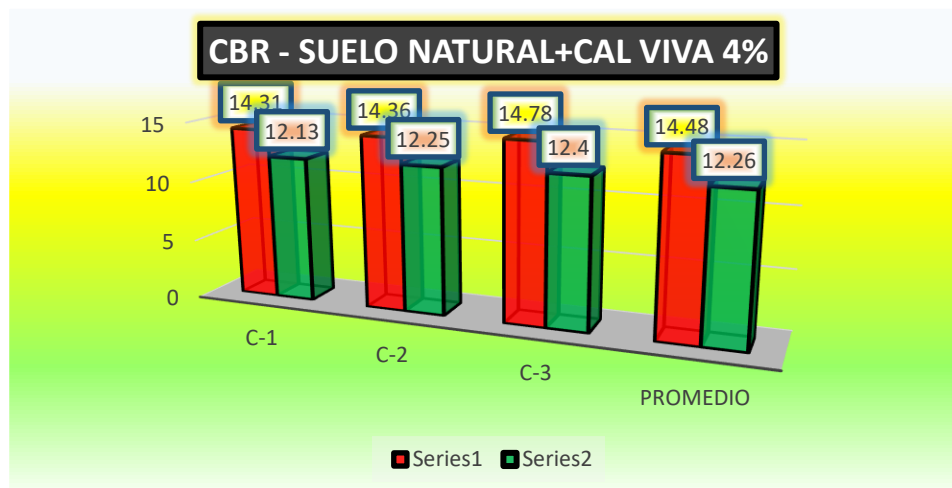
Calicata número 3 – CBR + cal viva en 4%



La grafica enseña los valores correspondientes al CBR del suelo natural estudiado en la carretera Arapa – Achaya, estos estudios serán correspondientes a la calicata número 3, el valor para la CBR 100% fue de 14.78% y la CBR al 95% fue de 12.40%.

**Figura 34**

Comparativa de las CBR de la subrasante natural + cal viva 4%



Se logro divisar mediante la gráfica elaborada que la CBR de los suelos estudiados tuvieron diferentes comportamientos a lo largo de los ensayos, en la calicata 1 se observa un CBR al 100% de 14.31% y 12.13% al 95%, para la calicata número 2 se obtuvo al 100% un CBR de 14.36% y 12.25% al 95% y finalmente la muestra 3 alcanzo un CBR al 100% de 14.78% y para el 95% se obtuvo un 12.40%.

#### 4.1.4 Subrasante estabilizada y la consideración de los ejes equivalentes 5

Para la construcción de carreteras, el suelo de la subrasante puede mejorarse estabilizándolo mediante el uso de una mezcla de cenizas volantes y cal viva. Esta técnica está diseñada para mejorar las características físicas y mecánicas del suelo. Esta combinación se emplea para mejorar la estabilidad de la subrasante, creando así unos cimientos de carretera más robustos y duraderos.

##### Sección de capas afirmadas

A la hora de elegir los espesores de la capa de firme, es fundamental adoptar un método de diseño que cumpla las normas del proyecto. El proyecto debe utilizar un procedimiento de diseño que cumpla eficazmente los requisitos del proyecto. Antes de ponerse en marcha, este procedimiento requiere el consentimiento de la organización contratante o administrativa y debe transmitirse a la autoridad reguladora del MTC.

Los espesores de pavimento especificados en este Manual se determinarán utilizando cualquier proceso de diseño que satisfaga los requisitos del proyecto. La ecuación empleada por NAASRA, ahora conocida como AUSTROADS, crea una correlación entre la capacidad portante del suelo (CBR) y la carga aplicada al pavimento, medida en términos del número de repeticiones EE.

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} (\text{Nrep}/120)$$

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la subrasante.

Nrep = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

Utilizando la fórmula presentada encontramos el espesor de la capa de afirmado en mm:

$$e = 141.94 \text{ mm}$$

Utilizando la fórmula tendremos como resultado el espesor de la capa afirmada, y esta será de un valor de 141.93 mm.

Es importante señalar que las zonas con subrasantes que tengan un coeficiente de soporte de California (CBR) inferior al 6% (lo que indica una subrasante insuficiente o inadecuada) se someterán a una evaluación específica del suelo con el fin de estabilizar o sustituir los suelos de la subrasante.

**Figura 35**

*Cuadro de ejes equivalentes y espesores (mtc)*

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																				
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Al ser vías de poca transitabilidad se asume valores según los parámetros establecidos o antecedentes de estudios cercanos a la zona, por ende, tomaremos un valor de EE de entre 25000 y 30000 por tal motivo el espesor del afirmado adecuado para la zona de estudio es de 150mm.

El espesor adecuado de la subrasante, definido como la capa inferior de la estructura de pavimento sobre la cual se asienta la base y el afirmado, juega un papel crucial en la estabilidad y durabilidad de la carretera. En este contexto, se ha determinado que para un estudio con un porcentaje óptimo de CBR (índice de soporte California Bearing Ratio) del 4%, la subrasante debería tener un espesor de 150 mm. Este valor se basa en la capacidad



de la cal viva, añadida al suelo, para mejorar las propiedades mecánicas y de soporte del terreno, incrementando así el CBR a un nivel deseado para las condiciones de carga y tráfico previstas.

La adición de cal viva al suelo es una práctica común para estabilizar la subrasante, mejorando su capacidad de carga y reduciendo su susceptibilidad a la deformación y al daño por agua. De esta manera, el espesor de 150 mm se ha calculado como el adecuado para proporcionar una base sólida y estable que cumpla con los requisitos de diseño y las expectativas de rendimiento del pavimento, minimizando los riesgos de asentamiento y deformación bajo las cargas previstas durante la vida útil de la carretera.

## 4.2 Discusión de resultados

Zimar et al. (2022) realizaron un estudio integral para evaluar la viabilidad del uso de cenizas volantes con el fin de estabilizar la subrasante. Para evaluar el efecto de este aumento se seleccionaron tres porcentajes específicos: 8%, 10% y 12%. Los resultados de la prueba California Bearing Ratio (CBR), con un nivel de confianza del 95%, demostraron un aumento sustancial en la resistencia mecánica del suelo. El índice de carga de California (CBR) original del suelo natural era del 14,13%. Sin embargo, la inclusión de un 4% de cenizas volantes resultó en un aumento sustancial de este valor, alcanzando el 18,12%. Al aumentar la tasa bruta de natalidad (CBR) en un 6%, alcanzó un valor del 21,33%. Además, el CBR logró un valor sobresaliente del 25,27% con un crecimiento del 9%. Las estadísticas indican inequívocamente que las cenizas volantes tienen la capacidad de mejorar la resistencia del suelo, por lo que ofrecen beneficios sustanciales para estabilizar la subrasante. En cuanto a la prueba del grado de compactación, hubo una notable disparidad en la densidad máxima del suelo. La densidad máxima inicial del suelo nativo fue de 1,75 g/cm<sup>3</sup>. Después de experimentar un aumento del 4%, el valor aumentó ligeramente hasta 1,77 gr/cm<sup>3</sup>. La fusión de una solución al 6% y



una solución al 9% produjo densidades máximas de 1,8 y 1,83 gramos por cm, respectivamente.

Los hallazgos del presente estudio sobre los efectos de las cenizas volantes y la cal viva en la capacidad portante de la subrasante de la carretera Arapa – Achaya indican que la incorporación de estos materiales mejora significativamente las cualidades mecánicas del suelo. Las pruebas de California Bearing Ratio (CBR) indicaron que el uso de estos estabilizadores en la subrasante mejoró notablemente la capacidad de carga, permitiendo una reducción en el espesor del pavimento mientras se mantiene la integridad estructural de la carretera. La mejora en la capacidad de soporte surge de la reacción puzolánica de las cenizas volantes, que al amalgamarse con los constituyentes del suelo produce sustancias cementosas que aumentan la cohesión y la estabilidad (González et al., 2020).

Las características de la cal viva fueron beneficiosas, actuando como un agente estabilizador que disminuyó el movimiento del suelo y mejoró la rigidez. Los resultados coinciden con investigaciones recientes que revelan que la cal viva minimiza la expansión del suelo al tiempo que mejora su capacidad de carga y resiliencia a las deformaciones inducidas por el tráfico (Martínez & López, 2019). Además, la incorporación de estos materiales permitió optimizar el espesor del pavimento, influyendo sustancialmente en la reducción de costos en proyectos de infraestructura vial, ya que es necesaria una reducción de material para cumplir con los criterios de resistencia requeridos (Pérez et al., 2021).

El uso de cenizas volantes y cal viva mejora las características mecánicas del suelo y tiene efectos medioambientales beneficiosos. La reutilización de residuos industriales, como las cenizas volantes, alivia las consecuencias ambientales de su eliminación y al mismo tiempo reduce la necesidad de recursos naturales en la construcción de carreteras (Rodríguez & Fernández, 2018). Los hallazgos indican que el uso de estos aditivos es un enfoque eficaz y sostenible para mejorar la capacidad de carga de las subrasantes y optimizar el espesor del pavimento en la construcción de carreteras.

## CONCLUSIONES

**Primera**, en la vía Arapa – Achaya, para la calicata numero 1 se tuvo un CBR al 100% de 5.67% y al 95% se calculó 5.38%, para la calicata número 2 se tuvo un CBR al 100% de 5.58% y al 95% se calculó 5.30% y finalmente la calicata número 3 se tuvo un CBR al 100% de 5.66% y al 95% se calculó 5.38%.

**Segunda**, los valores alcanzados de acuerdo a los estudios elaborados en el laboratorio con las muestras más la adición de cenizas volantes en porcentajes de 2.5% y 3.5%, el valor con mejor comportamiento fue el de 2.5%, obteniendo los siguientes resultados referentes a la capacidad de soporte de la vía establecida, la calicata número 1 tuvo un CBR al 100% de 12.72% y al 95% se calculó 12.08%, para la calicata número 2 se tuvo un CBR al 100% de 12.41% y al 95% se calculó 11.79% y finalmente la calicata número 3 se tuvo un CBR al 100% de 13.17% y al 95% se calculó 12.51%.

**Tercera**, los valores alcanzados de acuerdo a los estudios de las muestras recolectadas con incorporación de cal viva en porcentajes de 3% y 4%, el valor con mejor comportamiento fue de 4%, obteniendo los siguientes resultados referentes a la capacidad de soporte de la vía establecida, la calicata número 1 tuvo un CBR al 100% de 14.31% y al 95% se calculó 12.13%, para la calicata número 2 se tuvo un CBR al 100% de 14.36% y al 95% se calculó 12.25% y finalmente la calicata número 3 se tuvo un CBR al 100% de 14.78% y al 95% se calculó 12.40%.

**Cuarta**, los espesores de pavimento especificados en este Manual se determinarán utilizando cualquier proceso de diseño que satisfaga los requisitos del proyecto, por ende, el espesor calculado de acuerdo al CBR con mejor comportamiento dio como espesor para la capa de afirmado de 141.94mm.



## RECOMENDACIONES

**Primera**, se deberá considerar la mejorar los valores correspondientes a la capacidad de soporte de las vías Arapa – Achaya, ya que estas no se encuentran dentro de los valores requeridos y establecidos por la norma del MTC.

**Segunda**, se recomienda el uso de las cenizas volantes ya que aportan excelentes propiedades en lo que a capacidades de soporte respectan, es recomendable experimentar con proporciones variables para tener una mejor comprensión respecto a sus beneficios sobre la capacidad de soporte.

**Tercera**, es recomendable experimentar con proporciones variables de la cal viva, para tener una mejor comprensión respecto a sus beneficios sobre la capacidad de soporte, ya que esta también aporó los mejores resultados del estudio.

**Cuarta**, se sugiere áreas adicionales de investigación que podrían complementar este estudio, como el efecto a largo plazo de la estabilización del suelo en la carretera.



## REFERENCIAS

- Andrade Ruiz, yesica. (2019, noviembre 11). *Registro de Documentos* [Pagina del congreso]. validación de instrumentos. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/biblioteca/Biblio\\_con.nsf/999a45849237d86c052577920082c0c3/96B415B0E5B5C0AA052584AF006B7372](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/biblioteca/Biblio_con.nsf/999a45849237d86c052577920082c0c3/96B415B0E5B5C0AA052584AF006B7372)
- Arriaga Sandi, M. S., & Palomino Salvatierra, L. L. (2020). *Evaluación del mejoramiento de suelos lateríticos con cenizas de productos orgánicos y cenizas volantes*. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3409>
- Baldeon Sauñe, I. P. (2019). Análisis del Uso de la Arena de Sílice en la Estabilización de la Subrasante. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1307>
- Bardales Arévalo, K. (2020). Aplicación de ceniza volante y cal para el mejoramiento de la subrasante en la carretera Caclic-Luya-Amazonas 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64416>
- Barrientos-Monsalve, E. J. (2020). Comportamiento del concreto ante la fibra y ceniza volcánica. *Mundo FESC*, 10(19), Article 19.
- Bautista Gomez, J. U. (2022). Aplicación de cal hidratada con ceniza de madera para la estabilidad de la subrasante en la carretera Larampuquio – Accocapillapata, Ayacucho, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98582>
- Blanco, E. H. (2023, diciembre 8). *Dimensionamiento de estructuras de pavimento en función del contenido de cal o cemento en la subrasante*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/40361>
- 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. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101625>



- Carrasco Lozano, B. L. (2022). Estabilización de la subrasante adicionando ceniza de cáscara de arroz en diseño del pavimento rígido en pampas de hospital, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99690>
- Castillo Cortez, J. E., & Manrique Anticona, J. (2023). Mejoramiento de la subrasante adicionando ceniza de cáscara de arroz y hoja de plátano en la calle Camino Real, Santa, Ancash, 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/131970>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., Camargo Casallas, E., Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Chiguano Crespo, K. T. (2024). *Cal viva en el fraguado de geopolímeros con piedra pómez de Ecuador*. [masterThesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12428>
- Cosio Huillca, S. F., & Franco Centeno, R. P. (2023). Diseño de pavimento flexible agregando escoria de acero como mejora de infraestructura vial en las Lomas, Ventanilla alta, 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/131990>
- Cruzado Medina, C. I. (2019). Mejoramiento de la subrasante de baja capacidad portante mediante la cal en la carretera Puente Ricardo Palma La Oroya. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47261>
- do Couto, Á. F., Souza Ferreira Nogueira, G., Barreto Sandoval, G. F., Schwantes-Cezario, N., Morales, G., do Couto, Á. F., Souza Ferreira Nogueira, G., Barreto Sandoval, G. F., Schwantes-Cezario, N., & Morales, G. (2019). Initial study of Eucalyptus Wood Ash (EWA) as a mineral admixture in concrete. *DYNA*, 86(208), 264-270. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.74580>



- Encalada Oncihuay, J. R. (2020). Aplicación de cenizas volantes de carbón y cal para mejorar la estabilización de suelos arenosos en la ciudad Pachacútec, Ventanilla, Callao. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71396>
- Flores Ruiz, L. J., & Romero Mendo, C. A. R. (2023). Análisis correlacional entre el Índice de Penetración y el Índice CBR en el Módulo de Reacción de la subrasante de la ciudad de Pucallpa, Ucayali. *Universidad Ricardo Palma - Repositorio Institucional*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7203>
- Fonseca, A. M., Piratova, A. M., & Piratova, A. M. (2019). *Estabilización de suelos*. Ediciones de la U.
- Gamez Condori, F. O., & Vargas Condori, G. E. (2023). Mejoramiento de Propiedades del Suelo Cohesivo de Subrasante de la Carretera Maravillas—Vilcapata con Escoria de Hornos Artesanales, Juliaca, 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/114718>
- Guevara Tuesta, J. J. (2022). Influencia de la adición de las escorias del horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote. *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4189>
- Gutiérrez Pariona, F. H., & Parco Ramírez, A. (2022). *Obtención de clinker de cemento a partir de cenizas volantes de incineración de residuos sólidos urbanos*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9947>
- Hanco Chambi, J. C. (2021). Estabilización de suelos cohesivos con cal y cemento para mejorar la subrasante de la avenida Santa Rosa, Puno, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80083>
- Hernández Camacho, R. S. (2021). Efectos del óxido de calcio y cenizas volantes en la resistencia a la compresión y porosidad del concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87442>
- Jia, L., Guo, J., Wei, Z., & Wu, R. (2024). Mix optimization and mechanical properties evaluation of lime-fly ash-stabilized loess in various engineering applications. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e03208. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03208>



- Joshi, A. R., & Patel, S. (2023). Fly ash blended with lime and GGBFS as sustainable subbase material: Strength, durability, and microstructure assessment. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01305-4>
- Laura Hanco, G. E. (2022). Estabilización de subrasante con fibra de carrizo en la Av. Independencia, distrito de Ilo, Moquegua—2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91047>
- Maquera Flores, C. D., & Aquino Chura, Y. W. (2021). Estabilización de suelos arcillosos en caminos vecinales, modificado con cal y ceniza volante, carretera Acora – Jayujayu, Acora, Puno – 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64809>
- Millán Corrales, G. (2019). *Fabricación de cementantes híbridos mediante la activación alcalina de ceniza volante-OPC-caliza*. [Phd, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/18521/>



### ANEXOS

#### Anexo. Matriz de Consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuál es la influencia de cenizas volantes y cal viva sobre la capacidad de soporte de la subrasante para la optimización del espesor de afirmado en la carretera Arapa – Achaya 2024?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Evaluar la influencia de cenizas volantes y cal viva sobre la capacidad de soporte de la subrasante para la optimización del espesor de afirmado en la carretera Arapa – Achaya 2024.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La influencia de cenizas volantes y cal viva será positiva sobre la capacidad de soporte de la subrasante y se optimizará el espesor del afirmado en la carretera Arapa – Achaya 2024.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA</p>	<p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p>
<p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿Cuál es la capacidad de soporte CBR del material de subrasante y el afirmado existente en la carretera Arapa – Achaya 2024?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la aplicación de cenizas volantes en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la aplicación de cal viva en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024?</p> <p>¿Cuál es el espesor mejorado del afirmado con subrasante estabilizada y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Arapa – Achaya 2024?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Determinar la capacidad de soporte CBR del material de subrasante y el afirmado existente en la carretera Arapa – Achaya 2024.</p> <p>Analizar la influencia de la aplicación de cenizas volantes en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024</p> <p>Analizar la influencia de la aplicación de cal viva en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024.</p> <p>Determinar el espesor mejorado del afirmado con subrasante estabilizada y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Arapa – Achaya 2024</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>La capacidad de soporte CBR del material de subrasante y el afirmado existente en la carretera Arapa – Achaya 2024, estarán por debajo de las especificaciones mínimas de calidad.</p> <p>La influencia de la aplicación de cenizas volantes en cantidades controladas mejorará la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024.</p> <p>La influencia de la aplicación de cal viva en cantidades controladas incrementará la capacidad de soporte de la subrasante en la carretera Arapa – Achaya 2024.</p> <p>El espesor mejorado del afirmado con subrasante estabilizada y la consideración de los ejes equivalentes actuales de la carretera Arapa – Achaya 2024, estará por debajo de lo recomendado lo que indica que cumple con el espesor de afirmados</p>	<p><b>Dimensiones:</b></p> <p><i>Proporciones de adición de cenizas volantes</i></p> <p><i>M+2.5%CVo</i></p> <p><i>M+3.5% CVo</i></p> <p><i>Proporción de adición de cal viva</i></p> <p><i>M+3%CV</i></p> <p><i>M+4% CV</i></p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE SUBRASANTE</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CBR</li> </ul>	



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

INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024

### SOLICITANTE

Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA

### LUGAR

CARRETERA ARAPA – ACHAYA

### PROGRESIVA

KM 0+500

### MUESTRA

CALICATA 1 - MUESTRA 1

### FECHA

08 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	93.78
SUELO SECO + TARRO	gr	80.61
PESO DEL TARRO	gr	25.42
PESO DEL AGUA	gr	13.17
PESO DEL SUELO SECO	gr	55.19
HUMEDAD %	%	23.22

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

### LÍMITE PLÁSTICO

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

LÍMITE LÍQUIDO % : 34.76

LÍMITE PLÁSTICO % : 14.01

ÍNDICE PLÁSTICO % : 20.76

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W<sub>n</sub> = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FIGP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

Mgr. Annelo Yana Torres  
CIP: 103257



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



### PROYECTO

: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024

### SOLICITANTE

: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA

### LUGAR

: CARRETERA ARAPA – ACHAYA

### PROGRESIVA

: KM 2+500

### MUESTRA

: CALICATA 2 – MUESTRA 2

### FECHA

: 08 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	95.49
SUELO SECO + TARRO	gr	82.22
PESO DEL TARRO	gr	25.35
PESO DEL AGUA	gr	13.27
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.87
HUMEDAD %	%	22.10

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

### LÍMITE LÍQUIDO

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

### LÍMITE PLÁSTICO

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

LÍMITE LÍQUIDO % : 38.28

LÍMITE PLÁSTICO % : 17.66

ÍNDICE PLÁSTICO % : 20.63

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
E.I.C.P. - CAP. INGENIERÍA CIVIL

Mgr. Arnaldo Ana Torres  
CIP 103257



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



### PROYECTO

INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024

### SOLICITANTE

Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA

### LUGAR

CARRETERA ARAPA – ACHAYA

### PROGRESIVA

: KM 4+500

### MUESTRA

: CALICATA 3 – MUESTRA 3

### FECHA

: 08 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	96.76
SUELO SECO + TARRO	gr	83.43
PESO DEL TARRO	gr	25.25
PESO DEL AGUA	gr	13.33
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.18
HUMEDAD %	%	24.19

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

### LÍMITE PLÁSTICO

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

LÍMITE LÍQUIDO % : 36.70

LÍMITE PLÁSTICO % : 21.00

ÍNDICE PLÁSTICO % : 15.70

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
M.S.C.A.  
JULIACA, PERÚ  
Mgtr. Arnaldo Yano Torres  
CIF: 703257



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024

**SOLICITANTE** : Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA

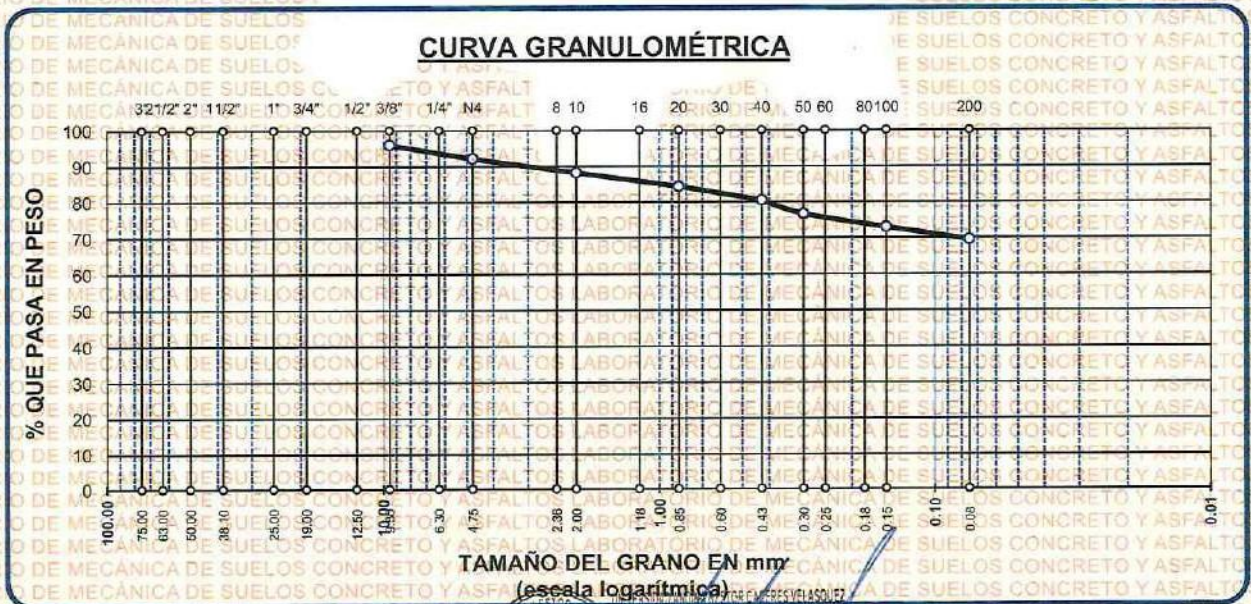
**LUGAR** : CARRETERA ARAPA - ACHAYA

**PROGRESIVA** : KM.0+500

**MUESTRA** : CALICATA 1 - MUESTRA 1

**FECHA** : 08 DE JULIO 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.I.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 762.95
1 1/2"	38.100						P.P.= 1737.05
1"	25.000						% W = 23.22
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 34.76
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 14.01
1/4"	6.300						I.P.= 20.76
No4	4.750	97.35	3.89	7.89	92.11		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= ---- Cu= ----
No10	2.000	96.95	3.88	11.77	88.23		D30= ---- Cc= ----
No16	1.180						
No20	0.850	96.75	3.87	15.64	84.36		CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. = :
No40	0.425	96.35	3.85	19.50	80.50		SUCS : CH
No 50	0.300	96.35	3.85	23.35	76.65		ASSTHO : A-7
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	91.65	3.67	27.02	72.98		
No200	0.075	87.55	3.50	30.52	69.48		
BASE		1737.05	69.48	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.48					



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

Metr. Arnaldo Yano Torres



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024

**SOLICITANTE** : Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA

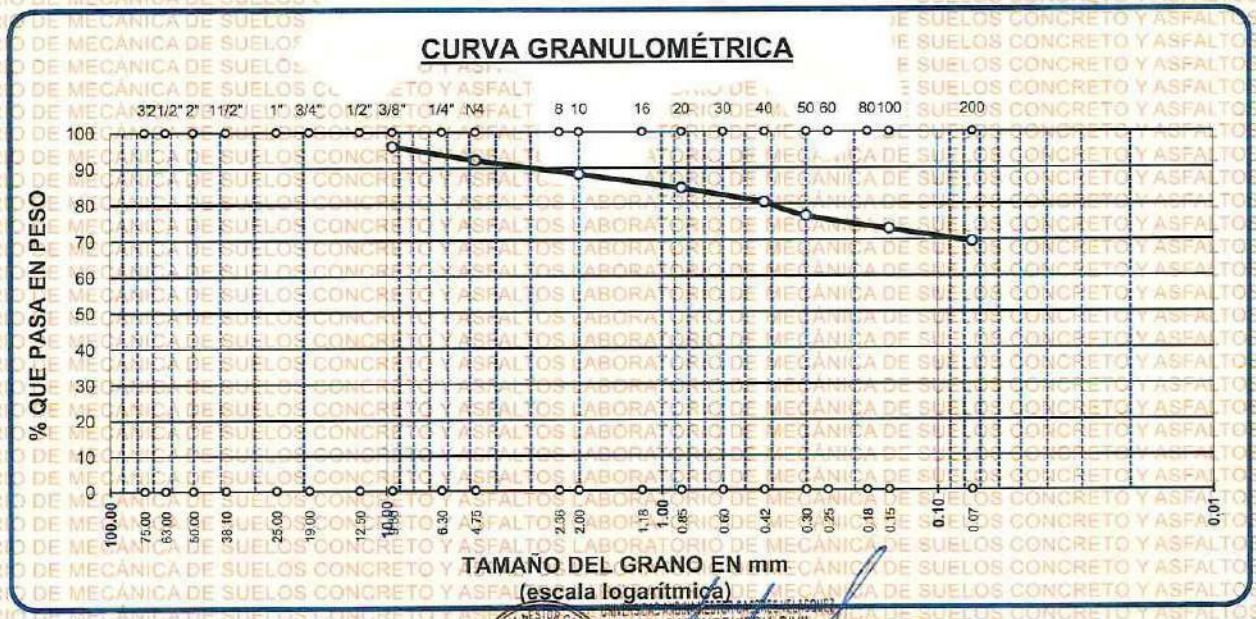
**LUGAR** : CARRETERA ARAPA – ACHAYA

**PROGRESIVA** : KM 2+500

**MUESTRA** : CALICATA 2 - MUESTRA 2

**FECHA** : 08 DE JULIO 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.I.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 762.55
1 1/2"	38.100						P.P.= 1737.45
1"	25.000						% W = 23.22
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 34.76
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 14.01
1/4"	6.300						I.P.= 20.76
No4	4.750	97.05	3.88	7.88	92.12		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= ---- Cu= ----
No10	2.000	96.55	3.86	11.74	88.26		D30= ---- Cc= ----
No16	1.180						
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	69.50	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.50					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
FIGP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL  
Mtro. Arnaldo Yana Torres



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024

**SOLICITANTE** : Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA

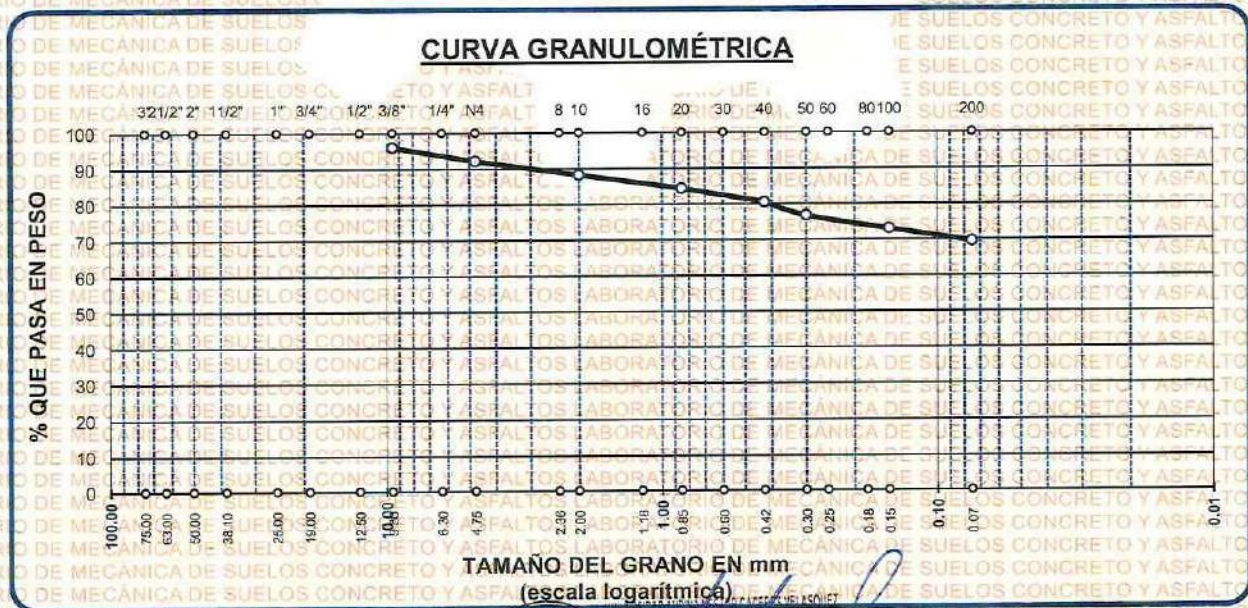
**LUGAR** : CARRETERA ARAPA – ACHAYA

**PROGRESIVA** : KM 4+500

**MUESTRA** : CALICATA 3 - MUESTRA 3

**FECHA** : 08 DE JULIO DEL 2024

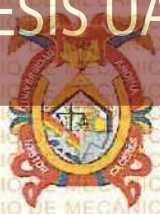
TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.I.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 761.85
1 1/2"	38.100						P.P.= 1738.15
1"	25.000						% W = 23.22
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 34.76
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 14.01
1/4"	6.300						I.P.= 20.76
No4	4.750	97.25	3.89	7.89	92.11		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= ---- Cu= ----
No10	2.000	96.75	3.87	11.76	88.24		D30= ---- Cc= ----
No16	1.180						
No20	0.850	96.55	3.86	15.62	84.38		CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. = :
No40	0.425	96.15	3.85	19.47	80.53		SUCS : CH
No 50	0.300	96.15	3.85	23.31	76.69		ASSTHO : A-7
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	91.55	3.66	26.98	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		69.53					



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



*Mano firmada*  
Madr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 03257



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
SOLICITANTE	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA
UBICACIÓN	: CARRETERA ARAPA – ACHAYA
PROGRESIVA	: KM 0+500
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 2.5% DE CENIZAS VOLANTES
FECHA	: 08 DE JULIO DEL 2024

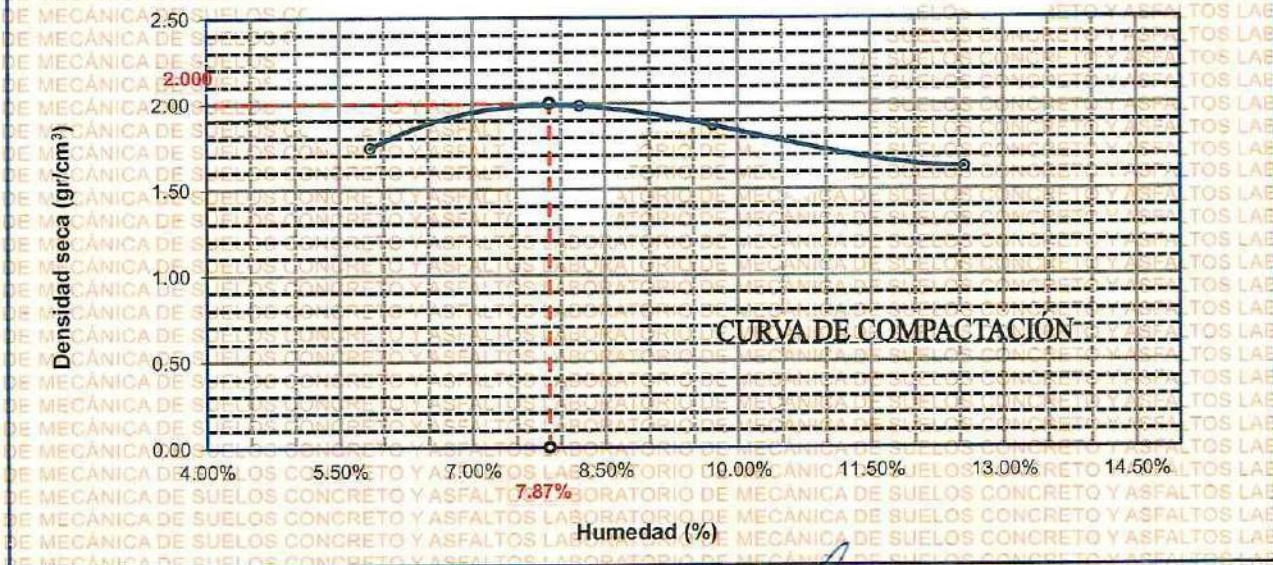
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2125 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9898	10545	10341	9874
Peso del Molde	gr.	5980	5980	5980	5980
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	3918	4565	4361	3894
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.844	2.148	2.052	1.832

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.75	415.76	442.22	422.85	432.45	415.75	412.67	389.86
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.02	397.16	412.12	396.88	400.21	384.52	367.25	380.15
Peso del Agua	gr.	20.73	18.60	30.10	25.97	32.24	31.23	45.42	29.71
Peso de la Capsula	gr.	62.98	64.76	63.10	64.20	65.36	66.25	64.87	65.85
Peso del Suelo Seco	gr.	340.04	332.38	349.02	332.68	334.85	316.27	302.38	294.30
% de Humedad	%	6.10%	5.60%	8.62%	7.81%	9.63%	9.81%	15.02%	10.10%
Promedio de Humedad	%	5.85%		8.22%		9.72%		12.56%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.742		1.985		1.870		1.628	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.000 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.87%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



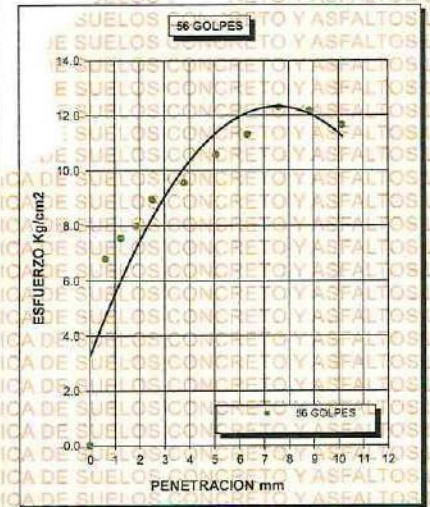
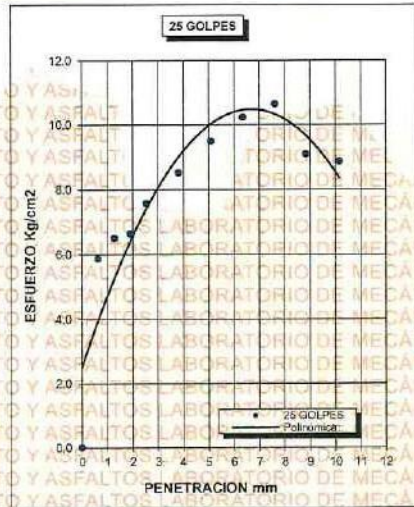
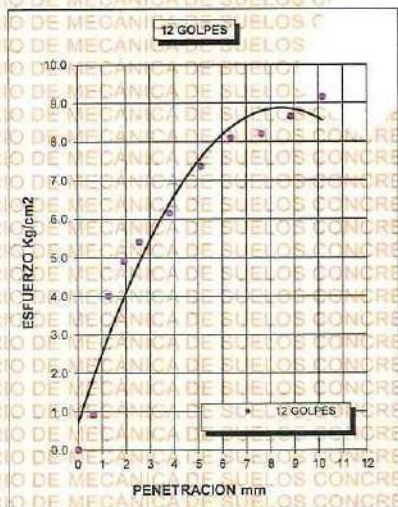
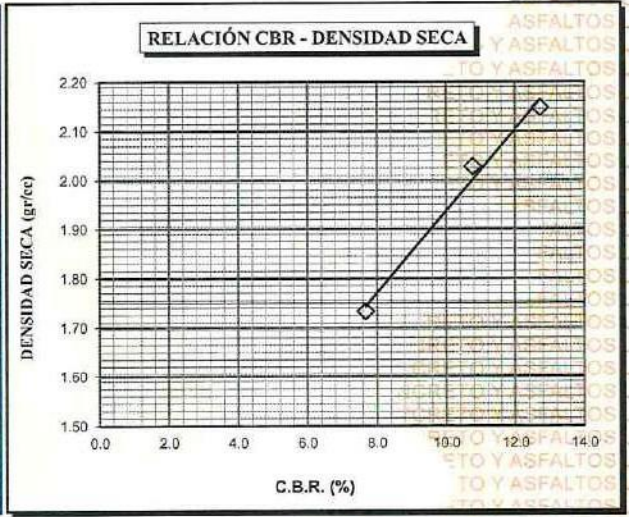
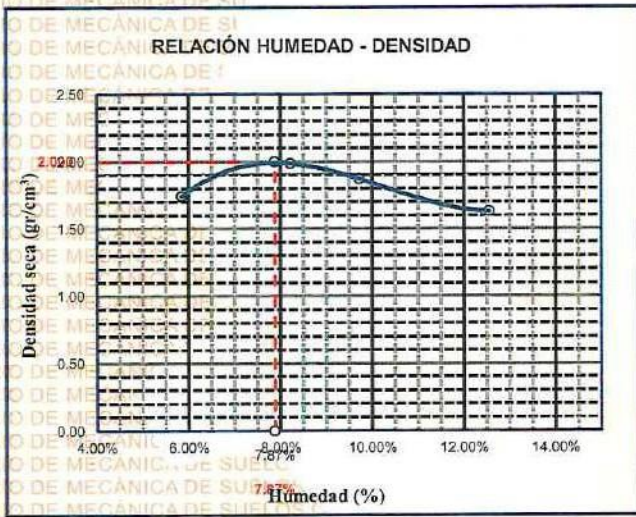
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
 Msc. Arzobispo Yana Torres  
 0103257



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

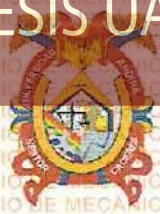


<b>PROYECTO :</b>	INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.000
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.87%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 0+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.72
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M1 + 2.5% DE CENIZAS VOLANTES	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 12.08
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL

Mtro. Arnaldo Yana Torres  
C.I. 1012327



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA
<b>UBICACIÓN</b>	: CARRETERA ARAPA – ACHAYA
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 2+500
<b>MUESTRA</b>	: CALICATA 2 - MUESTRA 2 + 2.5% DE CENIZA VOLANTE
<b>FECHA</b>	: 08 DE JULIO DEL 2024

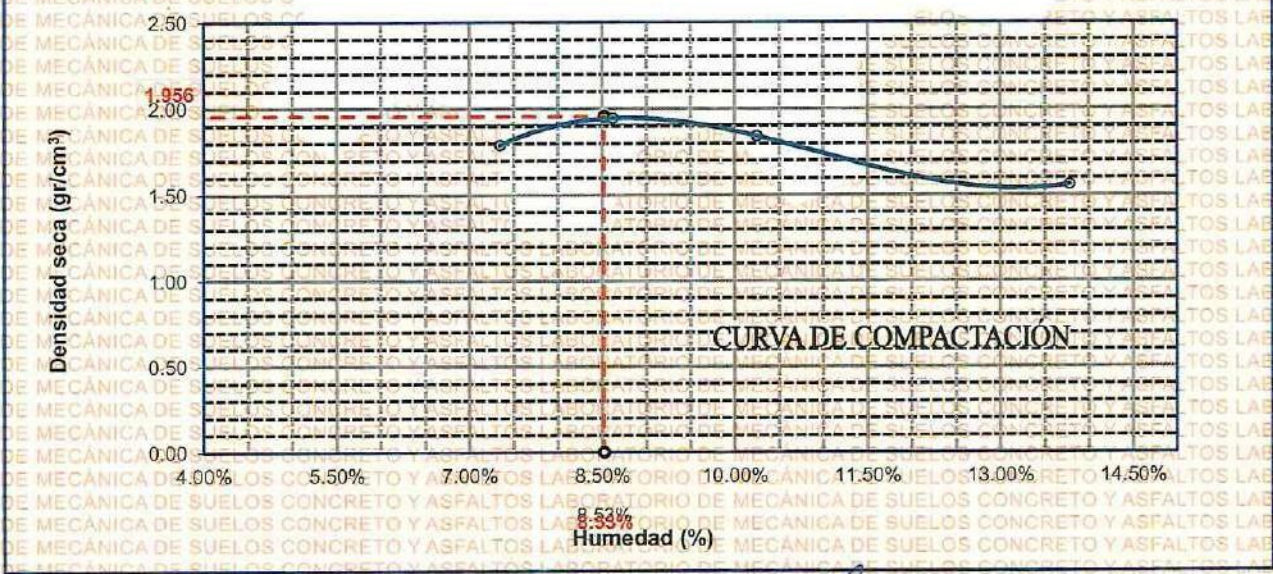
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2125 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10056	10465	10289	9741
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4082	4491	4315	3767
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.921	2.113	2.031	1.773

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	420.89	410.95	445.88	420.42	432.74	415.85	405.85	390.75
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	395.21	388.25	415.26	392.21	399.64	382.32	354.12	362.12
Peso del Agua	gr.	25.68	22.70	30.62	28.21	33.10	33.53	51.73	28.63
Peso de la Capsula	gr.	62.25	63.21	62.25	63.10	66.12	65.21	65.52	65.21
Peso del Suelo Seco	gr.	332.96	325.04	353.01	329.11	333.52	317.11	288.60	296.91
% de Humedad	%	7.71%	6.98%	8.67%	8.57%	9.92%	10.57%	17.92%	9.64%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	7.35%		8.62%		10.25%		13.78%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.789		1.946		1.842		1.558	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 1.956 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 8.53%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



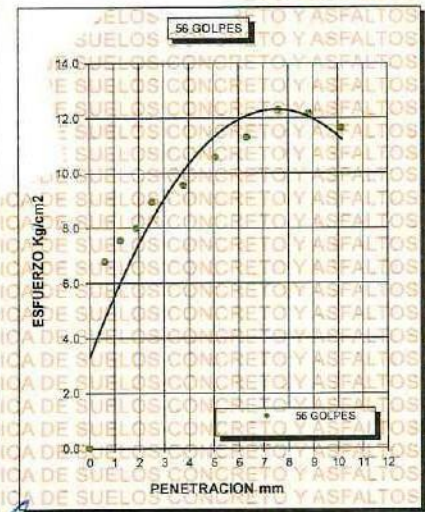
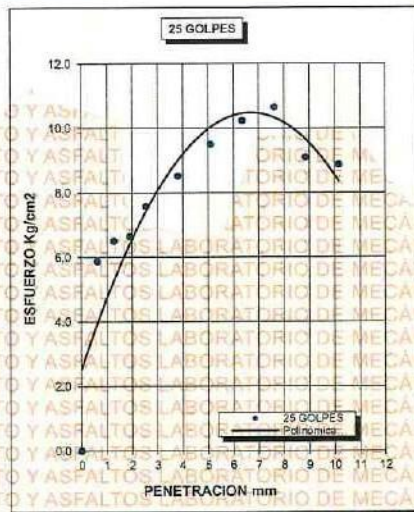
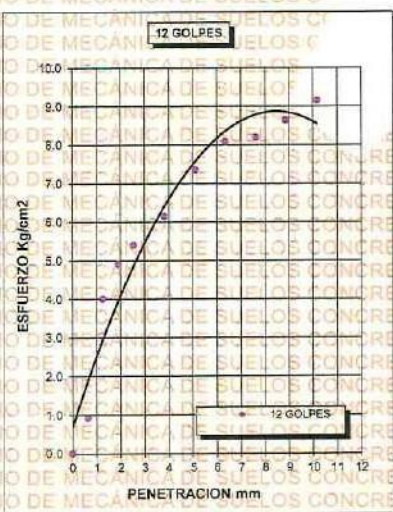
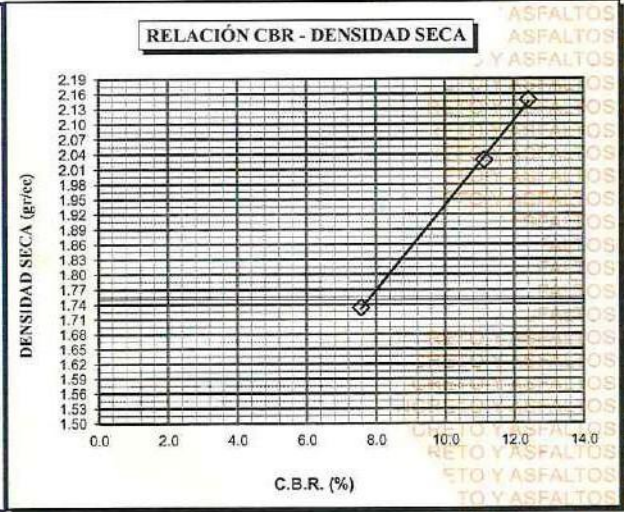
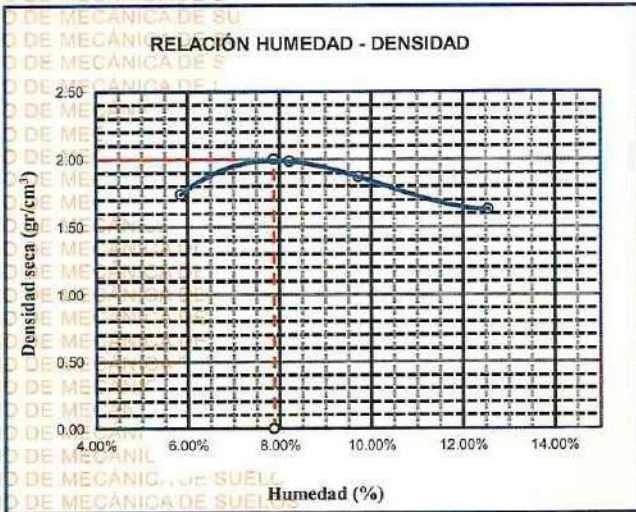
UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL  
 Mtro. Arnaldo Iana Torres  
 CIR 107757



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



<b>PROYECTO :</b>	INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.956
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.53%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 2+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.41
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M2 + 2.5% DE CENIZA VOLANTE	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 11.79
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



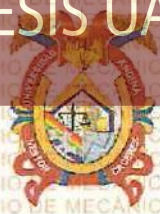
CBR 7.57

CBR 11.79

CBR 12.41

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

*Mgtr. Annelisa Yana Torres*  
CIP 103257



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA
<b>UBICACIÓN</b>	: CARRETERA ARAPA – ACHAYA
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 4+500
<b>MUESTRA</b>	: CALICATA 3 - MUESTRA 3 + 2.5% DE CENIZA VOLANTE
<b>FECHA</b>	: 08 DE JULIO DEL 2024

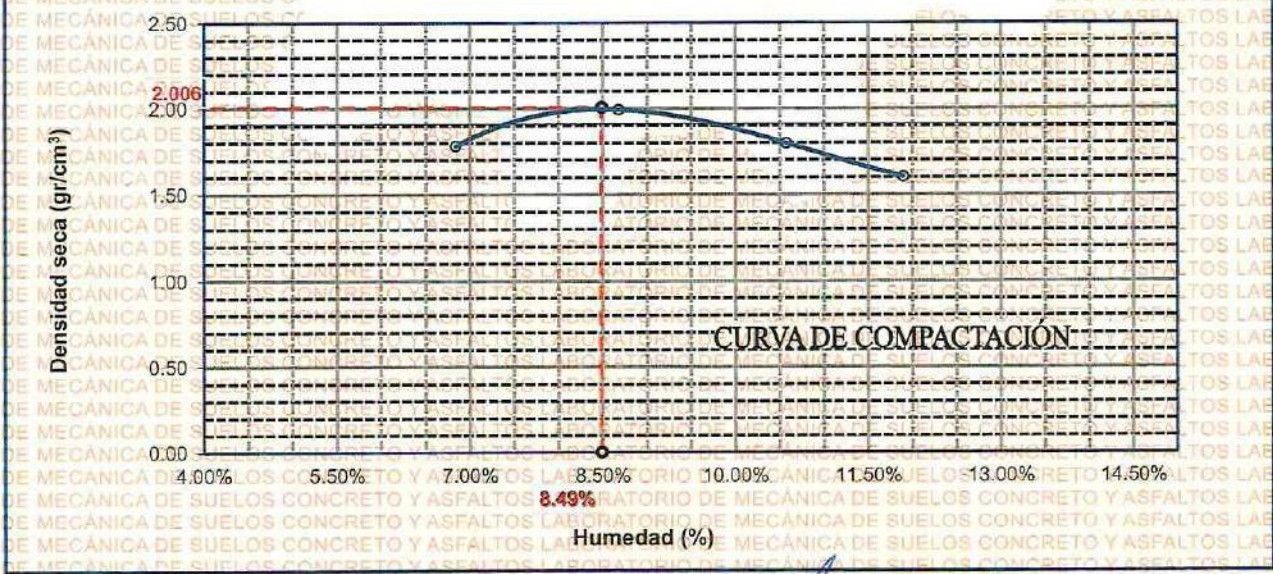
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2125 -cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	10035	10598	10215	9802
<b>Peso del Molde</b>	gr.	5993	5993	5993	5993
<b>Peso del Suelo Húmedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	4042	4605	4222	3809
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	1.902	2.167	1.987	1.792

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	425.89	415.89	438.78	420.98	425.85	416.78	406.58	392.72
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	403.65	392.42	413.45	388.21	392.45	382.25	363.12	365.32
<b>Peso del Agua</b>	gr.	22.24	23.47	25.33	32.77	33.40	34.53	43.46	27.40
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	62.45	64.65	63.58	64.52	65.36	66.69	65.87	66.74
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.56	297.25	298.58
<b>% de Humedad</b>	%	6.52%	7.16%	7.24%	10.12%	10.21%	10.94%	14.62%	9.18%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	6.84%		8.68%		10.58%		11.90%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.780		1.994		1.797		1.602	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 2.006 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 8.49%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



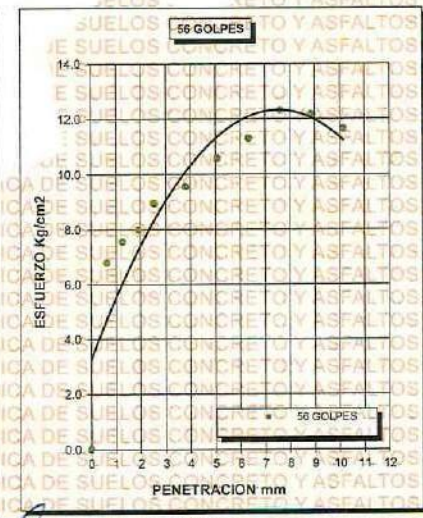
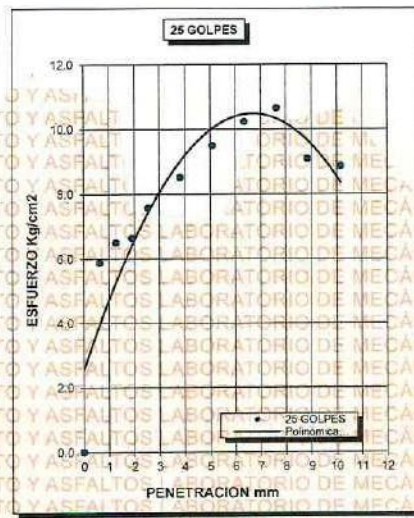
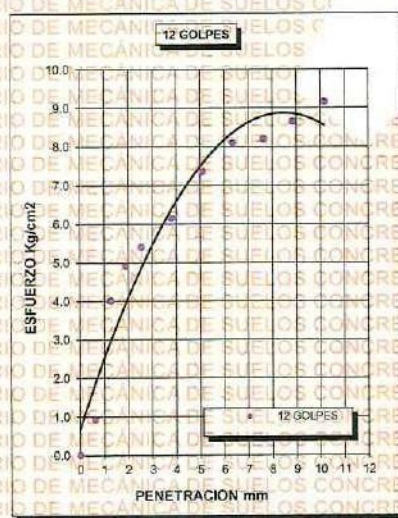
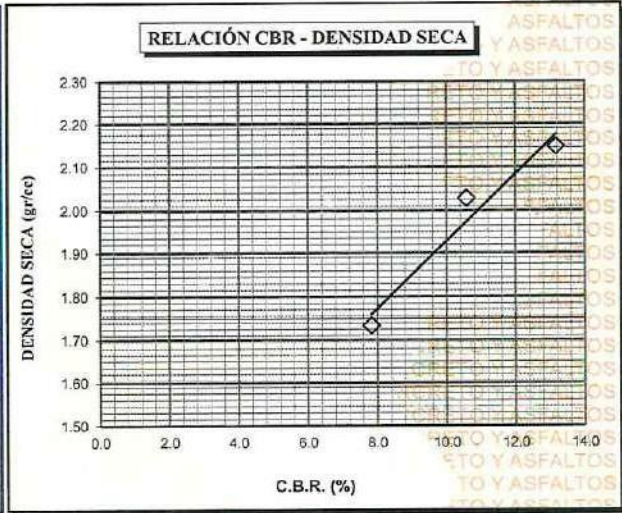
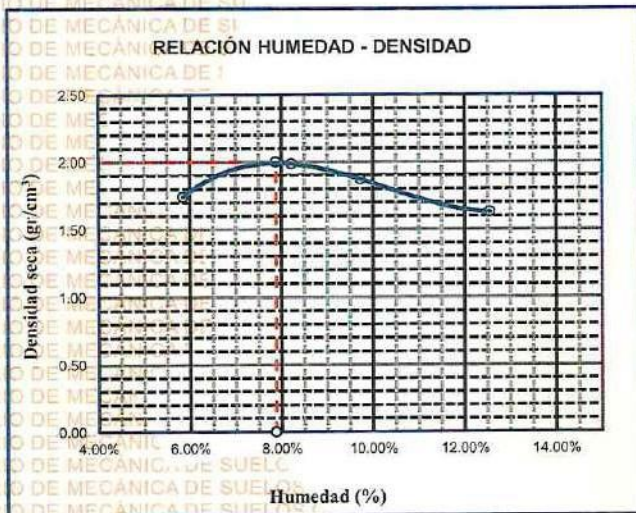
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
 CIP. 103257  
 LABORATORIO M.S.C.A. DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 JULIACA - PERÚ



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



<b>PROYECTO :</b>	INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.006
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.49%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 4+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 13.17
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M3 + 2.5% DE CENIZA VOLANTE	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 12.51
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
Mgtr. Arnaldo Tania Torres  
C.I. 103257



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: INFLUENCIA DE GENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024
SOLICITANTE	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA
UBICACIÓN	: CARRETERA ARAPA - ACHAYA
PROGRESIVA	: KM 0+500
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 3% DE CAL VIVA
FECHA	: 08 DE JULIO DEL 2024

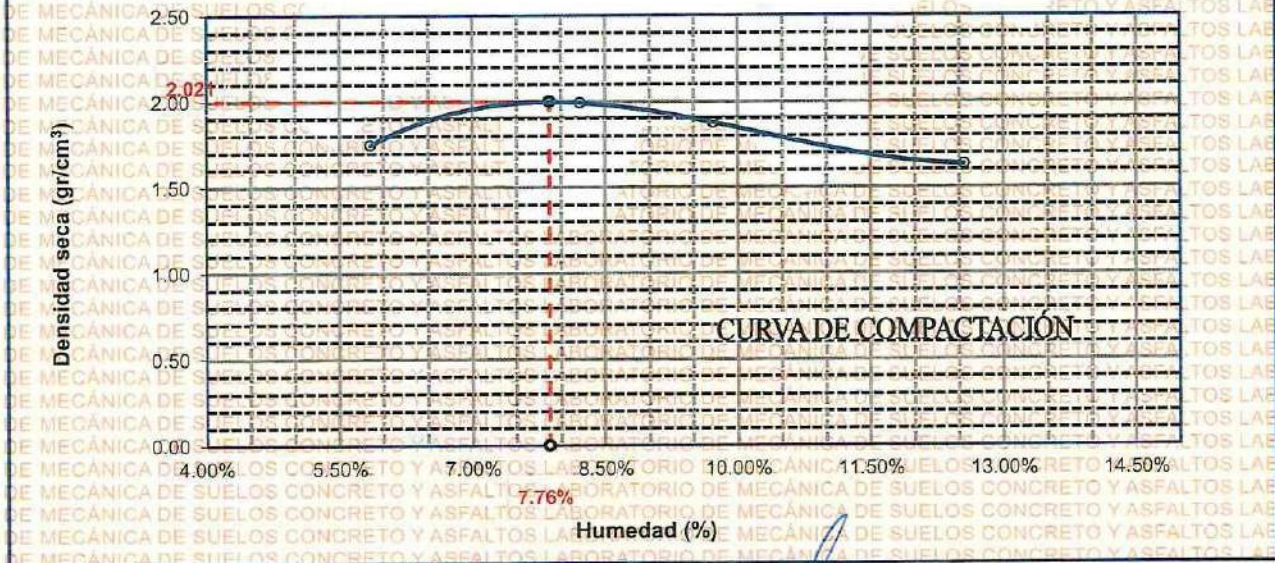
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2118 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

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

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.75	415.76	442.22	422.85	432.45	415.75	412.67	389.86
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.02	397.16	412.12	396.88	400.21	384.52	367.25	360.15
Peso del Agua	gr.	20.73	18.60	30.10	25.97	32.24	31.23	45.42	29.71
Peso de la Capsula	gr.	62.98	64.78	63.10	64.20	65.36	66.25	64.87	65.85
Peso del Suelo Seco	gr.	340.04	332.38	349.02	332.68	334.85	318.27	302.38	294.30
% de Humedad	%	6.10%	5.60%	8.62%	7.81%	9.63%	9.81%	15.02%	10.10%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	5.85%		8.22%		9.72%		12.56%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.748		1.992		1.877		1.633	

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

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



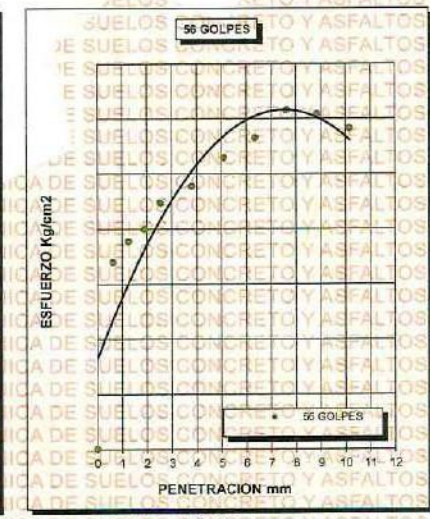
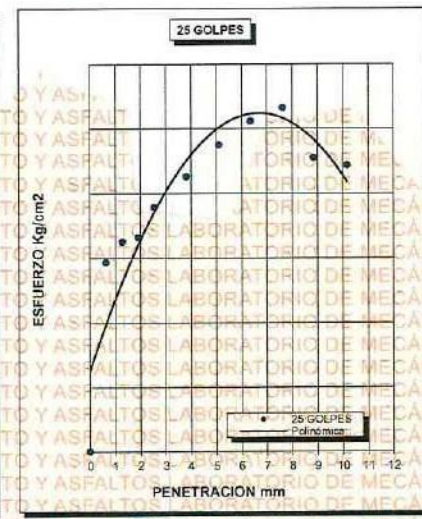
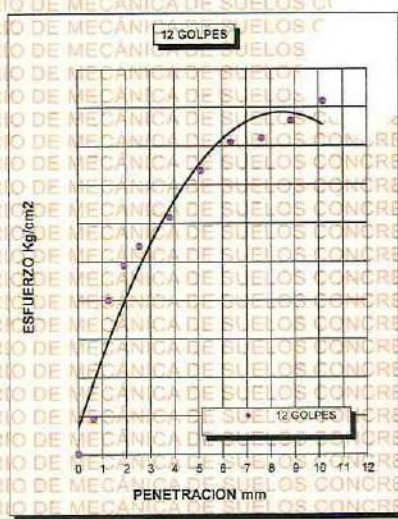
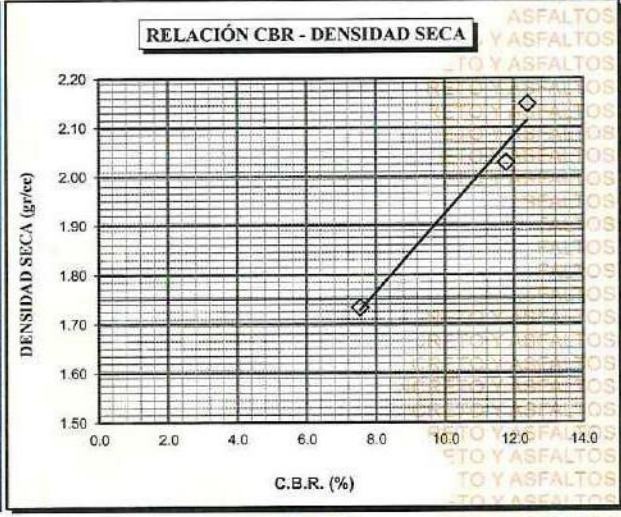
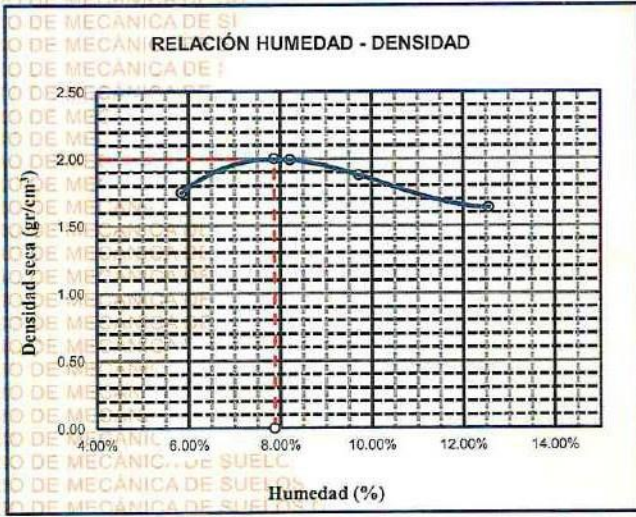
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 JEFATURA  
 Ing. Arnaldo Yana Torres  
 CIP 103257



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



<b>PROYECTO :</b>	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.021
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.76%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 0+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.39
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M1 + 3% DE CAL VIVA	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 11.77
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



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

*Mgty. Arnaldo Yana Torres*  
C.P. 107267

LABORATORIO M.S.C.A.  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
JULIACA - PERÚ



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA-NINA
<b>UBICACIÓN</b>	: CARRETERA ARAPA – ACHAYA
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 2+500
<b>MUESTRA</b>	: CALICATA 2 - MUESTRA 2 + 3% DE CAL VIVA
<b>FECHA</b>	: 08 DE JULIO DEL 2024

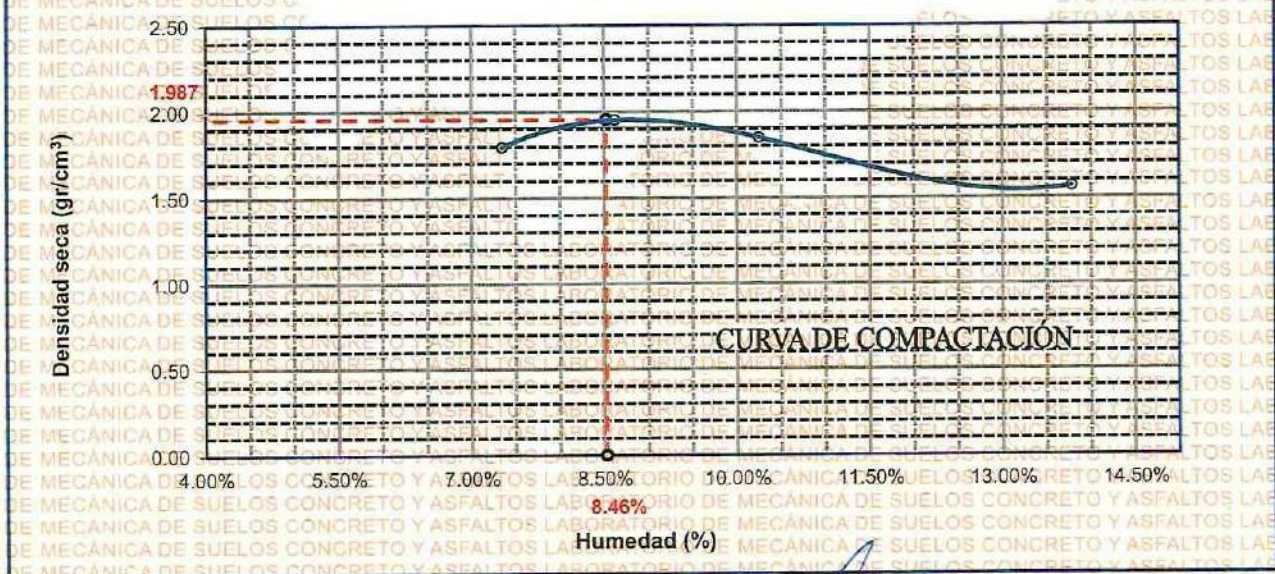
<b>MOLDE No</b>	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2118 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

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

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	420.89	410.95	445.88	420.42	432.74	415.85	405.85	390.75
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	395.21	388.25	416.26	392.21	399.64	382.32	354.12	362.12
<b>Peso del Agua</b>	gr.	25.68	22.70	30.62	28.21	33.10	33.53	51.73	28.63
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	62.25	63.21	62.25	63.10	66.12	65.21	65.62	65.21
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	332.96	325.04	353.01	329.11	333.52	317.11	288.60	296.91
<b>% de Humedad</b>	%	7.71%	6.98%	8.67%	8.57%	9.92%	10.57%	17.92%	9.64%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	7.35%		8.62%		10.25%		13.78%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.795		1.952		1.848		1.563	

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

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



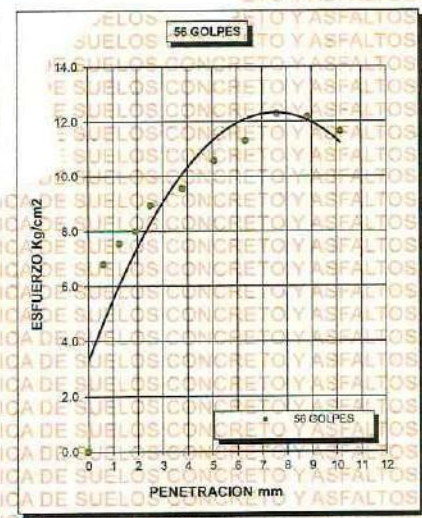
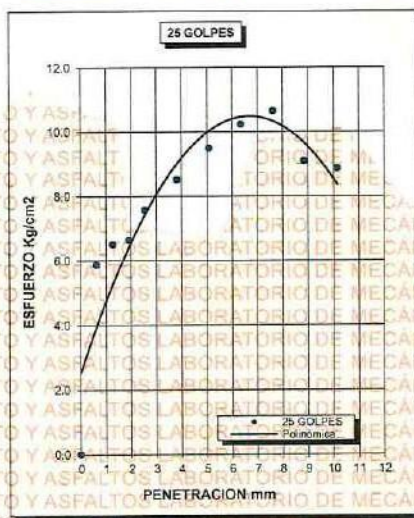
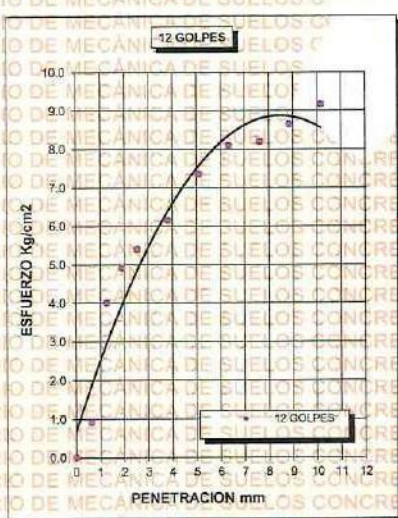
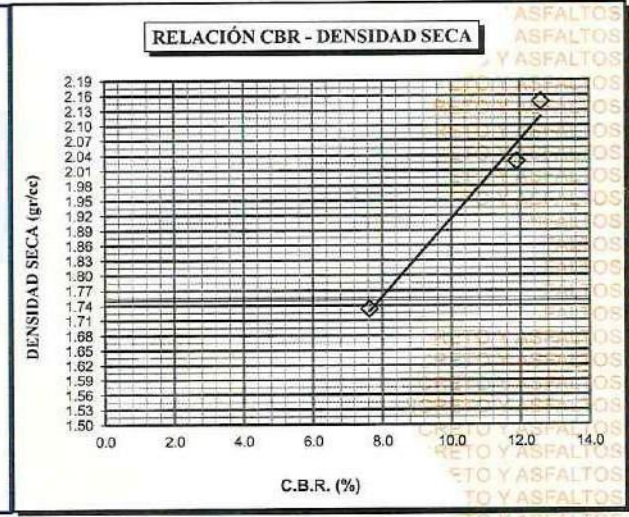
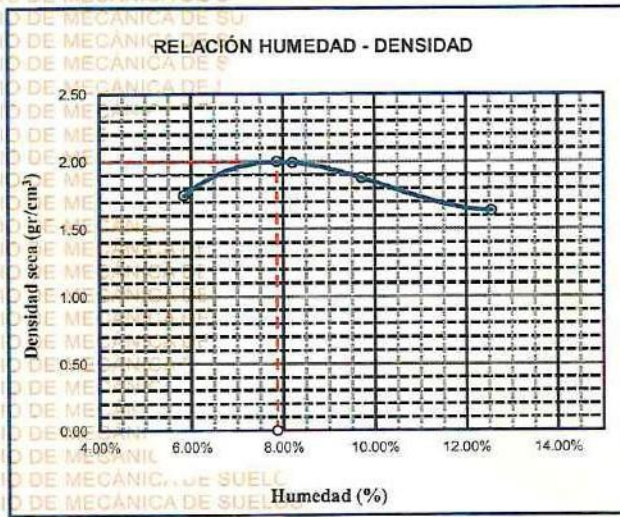
Mgr. Arnoldo Yano Torres  
 JEFATURA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - INGENIERÍA CIVIL  
 JULIACA - PERÚ  
 17-103207



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



<b>PROYECTO :</b>	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.987
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.46%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 2+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.59
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M2 + 3% DE CAL VIVA	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 11.90
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A. JEPATURA JULIACA - T.

Mtr. Arnaldo Yana Torres  
C.I.T. 103257



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMAO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA
<b>UBICACIÓN</b>	: CARRETERA ARAPA – ACHAYA
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 4+500
<b>MUESTRA</b>	: CALICATA 3 - MUESTRA 3 + 3% DE CAL VIVA
<b>FECHA</b>	: 08 DE JULIO DEL 2024

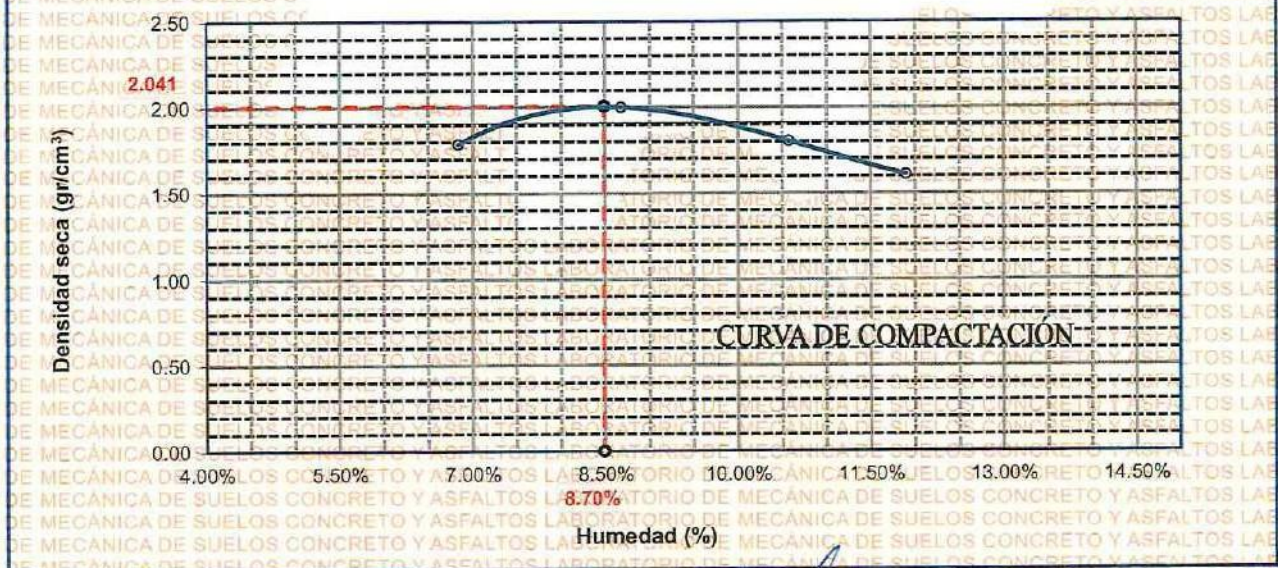
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2118 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

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

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	425.89	415.89	438.78	420.98	425.85	416.78	405.58	392.72
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.65	392.42	413.45	388.21	392.45	382.25	363.12	365.32
Peso del Agua	gr.	22.24	23.47	25.33	32.77	33.40	34.53	43.46	27.40
Peso de la Capsula	gr.	82.45	64.65	63.58	64.52	65.36	66.69	65.87	66.74
Peso del Suelo Seco	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.56	297.25	298.58
% de Humedad	%	6.52%	7.16%	7.24%	10.12%	10.21%	10.94%	14.62%	9.18%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	6.84%		8.68%		10.58%		11.90%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.786		2.001		1.803		1.607	

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

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



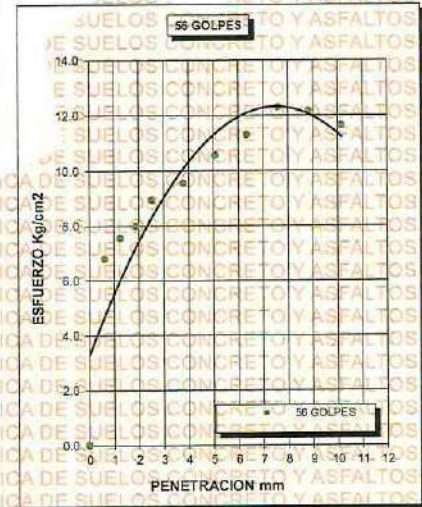
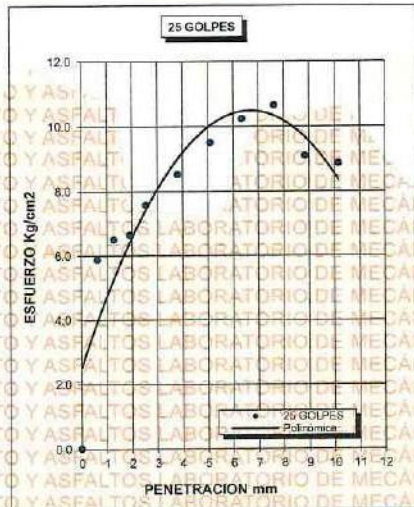
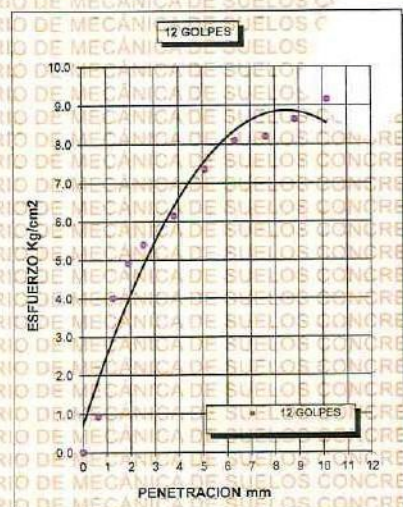
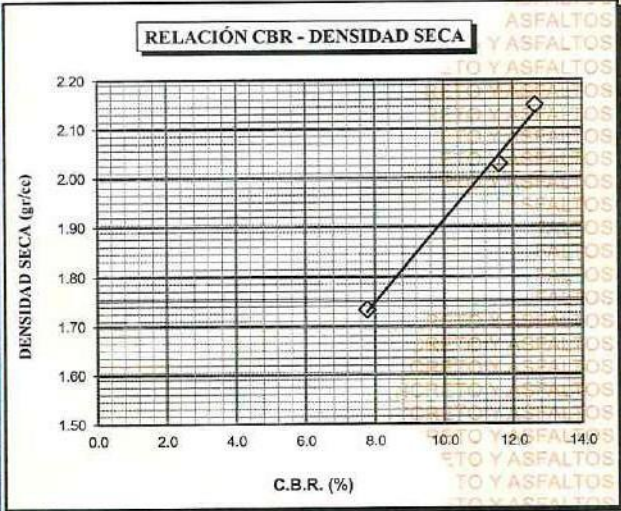
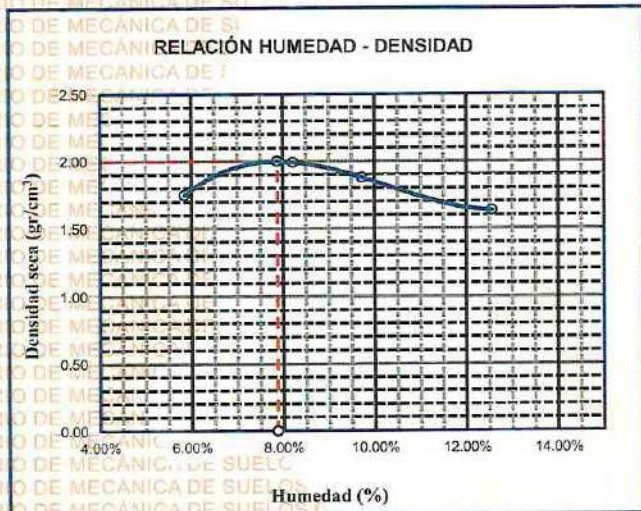
Ing. Arnaldo Yana Torres  
 CIP: 103267



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



<b>PROYECTO</b> :	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO</b> :	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUACHA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.041
<b>UBICACIÓN</b> :	CARRETERA ARAPA - ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.70%
<b>PROGRESIVA</b> :	KM 4+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.64
<b>MUESTRA</b> :	CALICATA - M3 + 3% DE CAL VIVA	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 11.60
<b>FECHA</b> :	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



LABORATORIO M.S.C.A. JERÓNIMO DE SANTIAGO JULIACA

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. Arnoldo Yana Torres  
CIP. 103257



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMANDO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
SOLICITANTE	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA
UBICACIÓN	: CARRETERA ARAPA – ACHAYA
PROGRESIVA	: KM 0+500
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 3.5% DE CENIZA VOLANTE
FECHA	: 08 DE JULIO DEL 2024

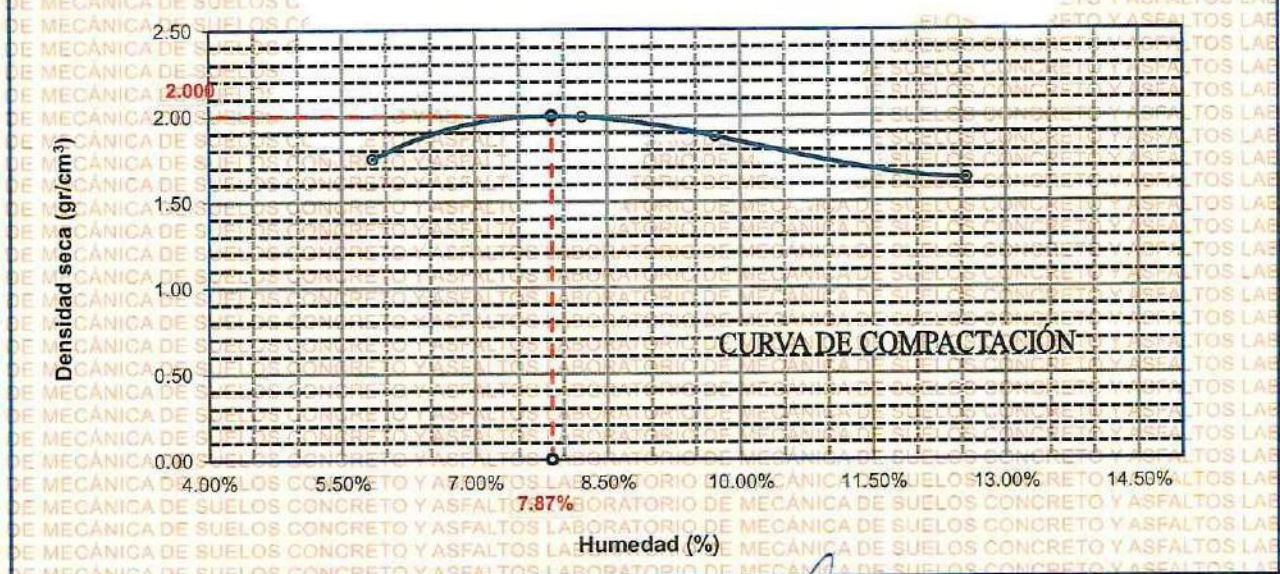
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2115 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9898	10545	10341	9874
Peso del Molde	gr.	5980	5980	5980	5980
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	3918	4565	4361	3894
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.852	2.158	2.062	1.841

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.75	415.76	442.22	422.85	432.45	415.75	412.67	389.86
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.02	397.16	412.12	396.88	400.21	384.52	367.25	360.15
Peso del Agua	gr.	20.73	18.60	30.10	25.97	32.24	31.23	45.42	29.71
Peso de la Capsula	gr.	62.98	64.78	63.10	64.20	65.36	66.25	64.87	65.85
Peso del Suelo Seco	gr.	340.04	332.38	349.02	332.68	334.85	318.27	302.38	294.30
% de Humedad	%	6.10%	5.60%	8.62%	7.81%	9.63%	9.81%	15.02%	10.10%
Promedio de Humedad	%	5.85%		8.22%		9.72%		12.56%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.750		1.995		1.879		1.636	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.000 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.87%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



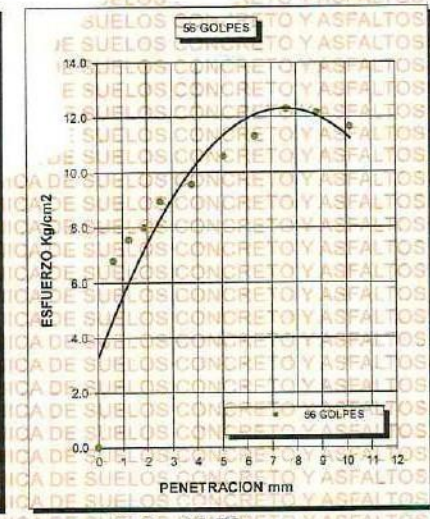
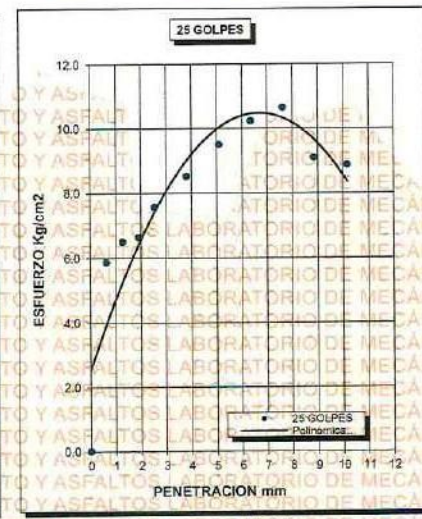
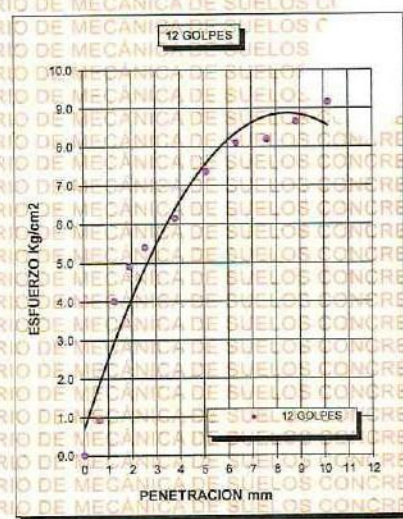
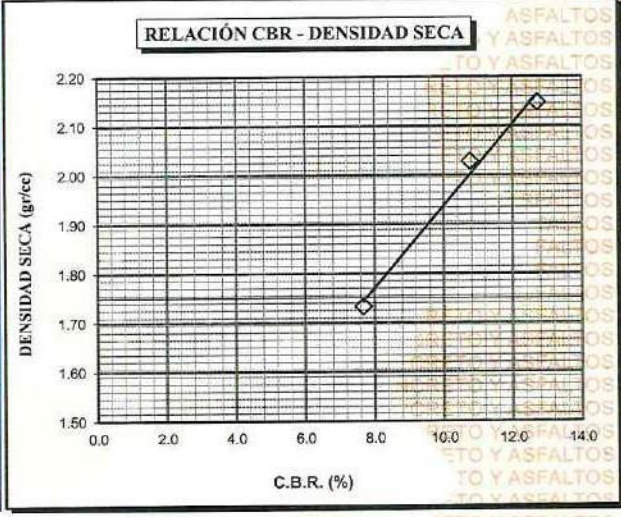
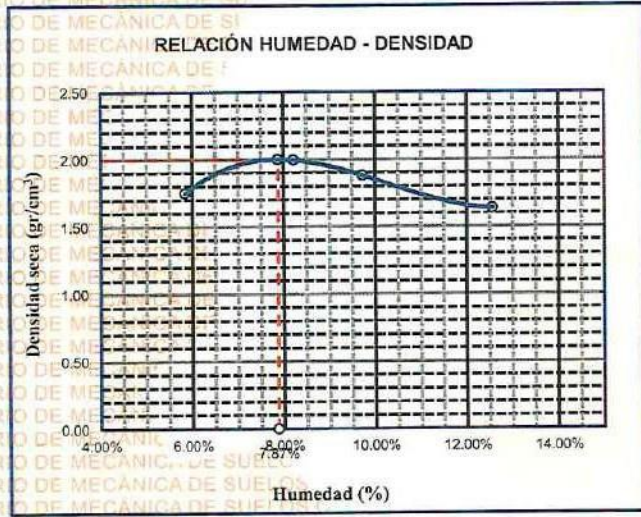
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
Mg. Arnaldo Yana Torres  
CIP. 103257



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



<b>PROYECTO :</b>	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.000
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.87%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 0+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.72
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M1 + 3.5% DE CENIZA VOLANTE	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 12.08
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 LABORATORIO M.S.C.A.  
 JEFEATURA  
 Mgr. Analdy Yana Torres



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



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024		
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA		
<b>UBICACIÓN</b>	CARRETERA ARAPA - ACHAYA		
<b>PROGRESIVA</b>	KM 2+500		
<b>MUESTRA</b>	CALICATA 2 - MUESTRA 2 + 3.5% DE CENIZA VOLANTE		
<b>FECHA</b>	08 DE JULIO DEL 2024		

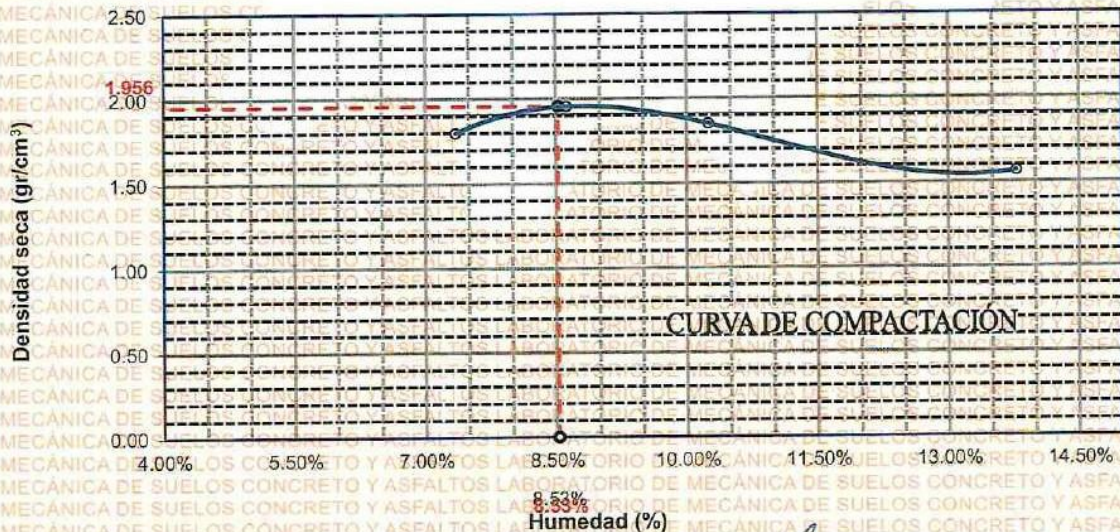
<b>MOLDE No</b>	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	2115 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10056	10465	10289	9741
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4082	4491	4315	3767
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.930	2.123	2.040	1.781

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.89	410.95	445.88	420.42	432.74	415.85	405.85	390.75
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	395.21	388.25	415.25	392.21	399.64	382.32	354.12	362.12
Peso del Agua	gr.	25.68	22.70	30.62	28.21	33.10	33.53	51.73	28.63
Peso de la Capsula	gr.	62.25	63.21	62.25	63.10	66.12	65.21	65.52	65.21
Peso del Suelo Seco	gr.	332.96	325.04	353.01	329.11	333.52	317.11	288.60	296.91
% de Humedad	%	7.71%	6.98%	8.67%	8.57%	9.92%	10.57%	17.92%	9.64%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	7.35%		8.62%		10.25%		13.78%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.798		1.955		1.851		1.565	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	1.956 gr/cm <sup>3</sup>
		<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	8.53%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD

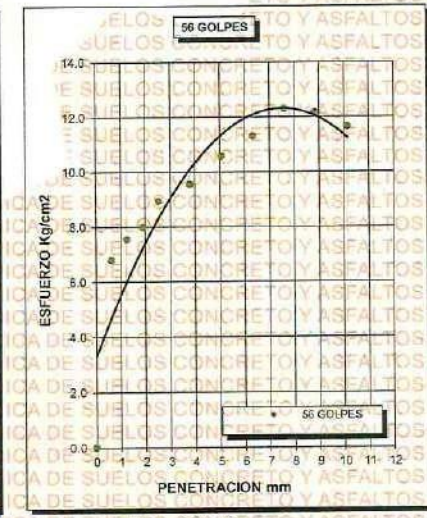
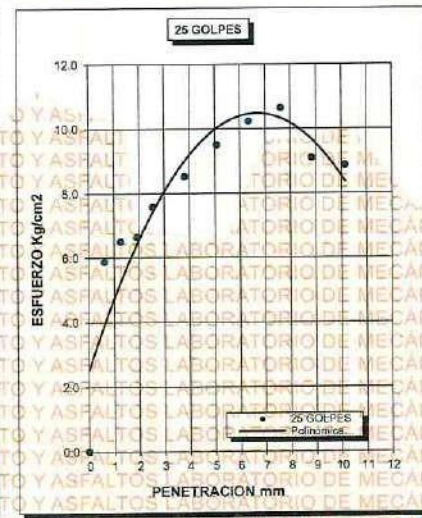
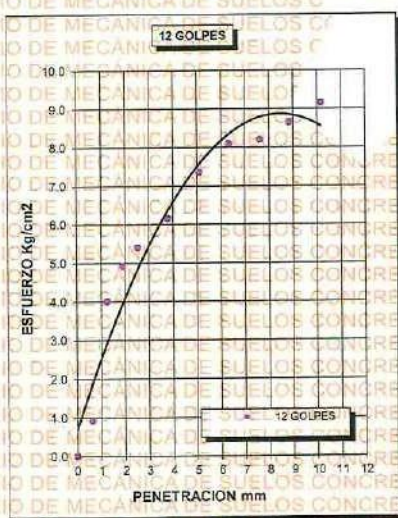
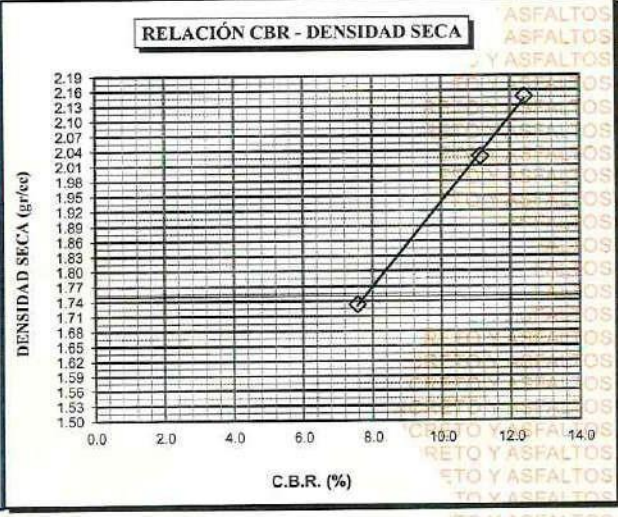
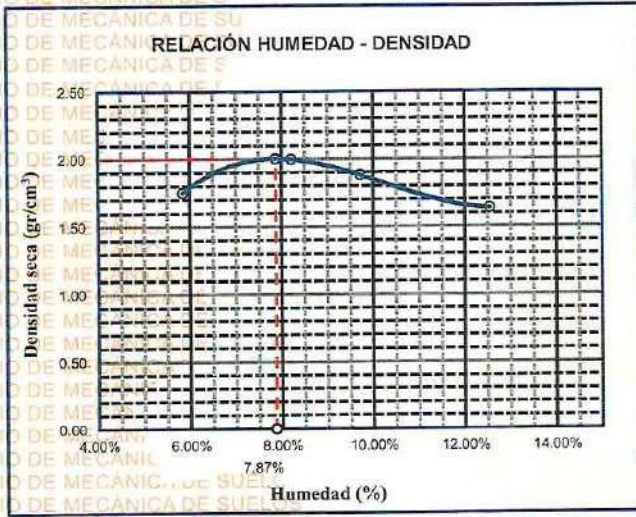




**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



<b>PROYECTO :</b>	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUACHA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.956
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.53%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 2+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.41
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M2 + 3.5% DE CENIZA VOLANTE	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 11.79
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 7.57

CBR 11.14

CBR 12.41

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAR INGENIERÍA CIVIL  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
C.P. 103257



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

### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMANDO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
SOLICITANTE	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA
UBICACIÓN	: CARRETERA ARAPA – ACHAYA
PROGRESIVA	: KM 4+500
MUESTRA	: CALICATA 3 - MUESTRA 3 + 3.5% DE CENIZA VOLANTE
FECHA	: 08 DE JULIO DEL 2024

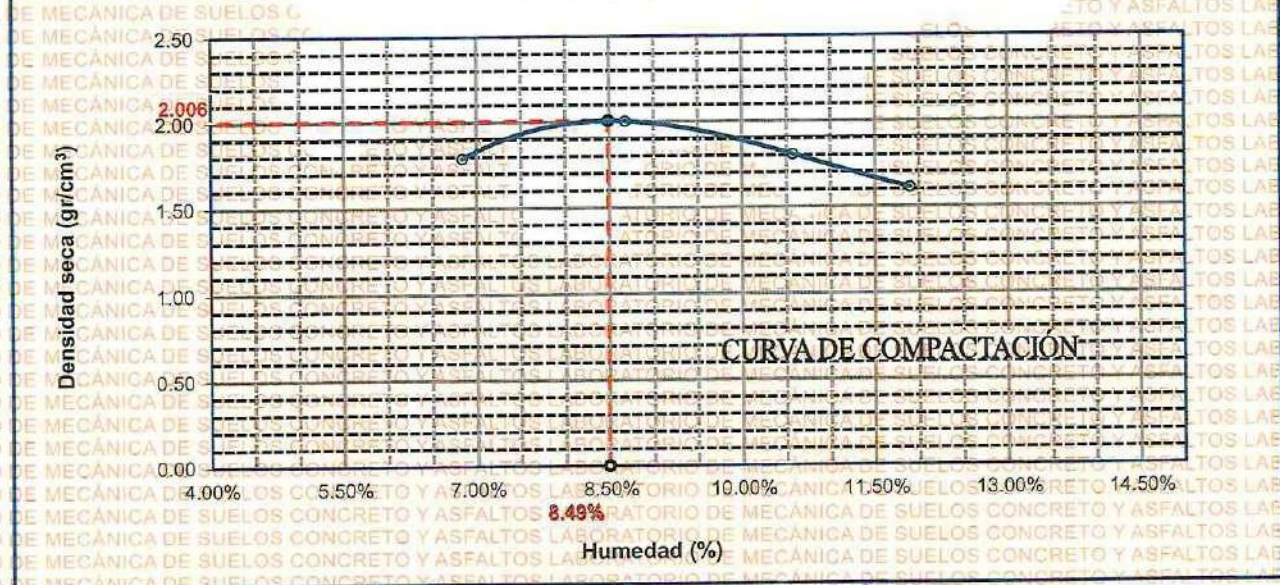
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2115 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10035	10598	10215	9802
Peso del Molde	gr.	5993	5993	5993	5993
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4042	4605	4222	3809
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.911	2.177	1.996	1.801

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo-Humedo + Capsula	gr.	425.89	415.89	438.78	420.98	425.85	416.78	406.58	392.72
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.65	392.42	413.45	388.21	392.45	382.25	363.12	365.32
Peso del Agua	gr.	22.24	23.47	25.33	32.77	33.40	34.53	43.46	27.40
Peso de la Capsula	gr.	62.45	64.65	63.58	64.52	65.36	66.69	65.87	66.74
Peso del Suelo Seco	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.56	297.25	298.58
% de Humedad	%	6.52%	7.16%	7.24%	10.12%	10.21%	10.94%	14.62%	9.18%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	6.84%		8.68%		10.58%		11.90%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.789		2.003		1.805		1.609	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.006 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.49%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



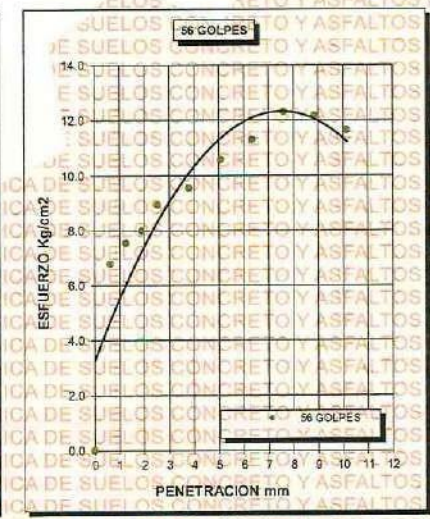
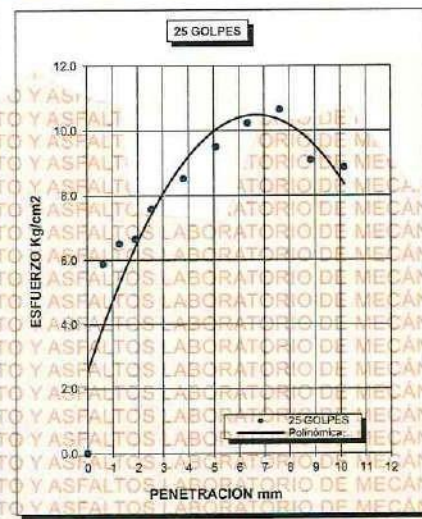
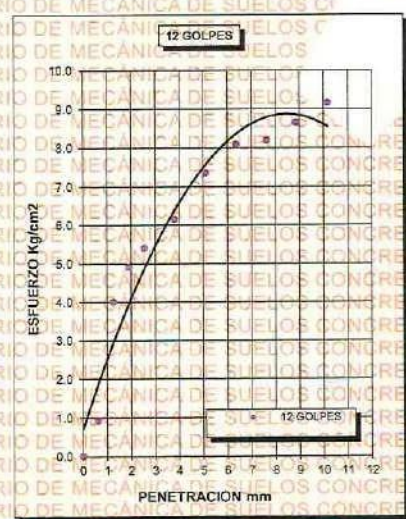
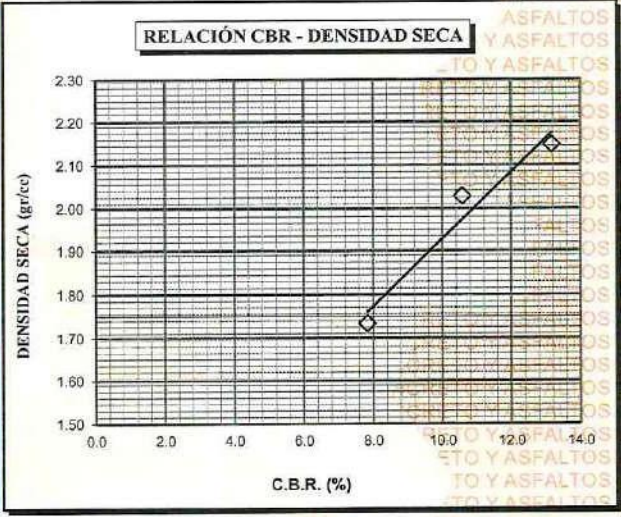
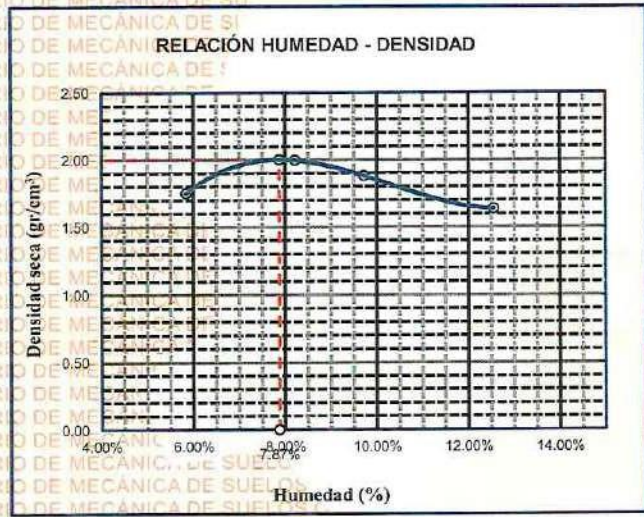
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
 M.S.C.A. JEFATURA  
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres



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



<b>PROYECTO :</b>	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA-NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.006
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA - ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.49%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 4+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 13.17
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M3 + 3.5% DE CENIZA VOLANTE	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 12.51
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
M.Sc. Arriaga Yula Torres  
C.I.P. 103257



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA
<b>UBICACIÓN</b>	: CARRETERA ARAPA – ACHAYA
<b>PROGRESIVA</b>	: KM.0+500
<b>MUESTRA</b>	: CALICATA 1 - MUESTRA 1
<b>FECHA</b>	: 08 DE JULIO DEL 2024

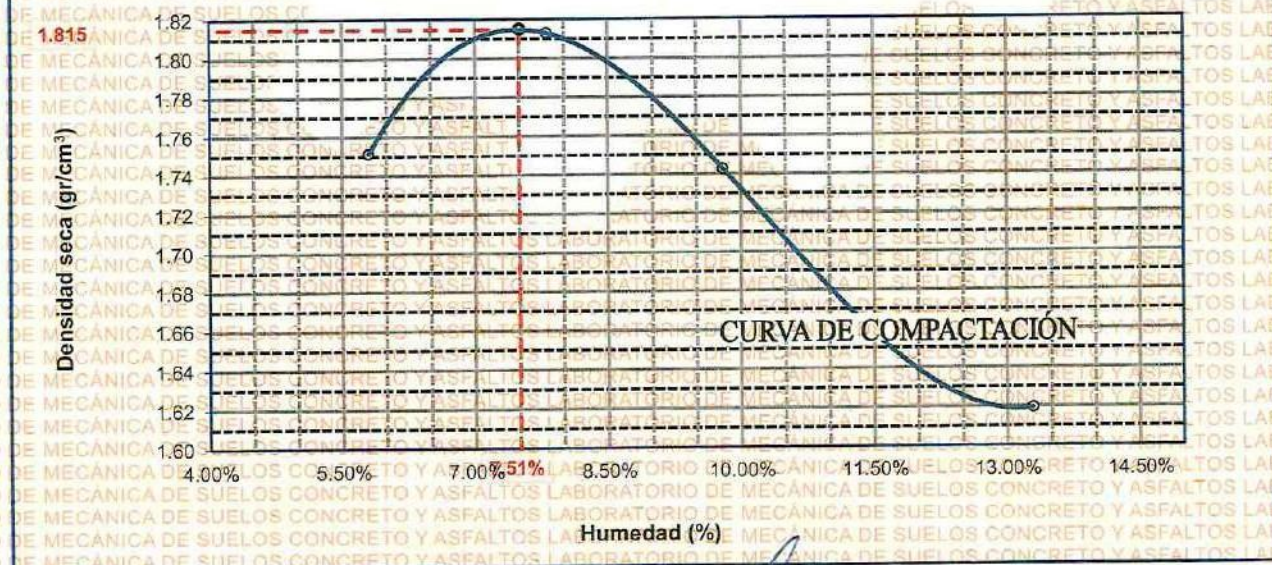
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2105 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

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

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.88	412.88	441.88	421.36	433.25	412.35	409.67	388.34
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.74	394.25	415.74	393.42	401.25	380.74	360.33	359.49
Peso del Agua	gr.	20.14	18.63	25.14	27.94	32.00	31.62	49.34	28.85
Peso de la Capsula	gr.	64.96	64.36	63.96	64.36	66.78	65.36	65.55	66.47
Peso del Suelo Seco	gr.	338.78	329.89	352.78	329.06	334.47	315.38	294.78	293.02
% de Humedad	%	5.94%	5.85%	7.13%	8.49%	9.57%	10.03%	16.74%	9.85%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	5.80%		7.81%		9.80%		13.29%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.751		1.813		1.743		1.619	

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

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



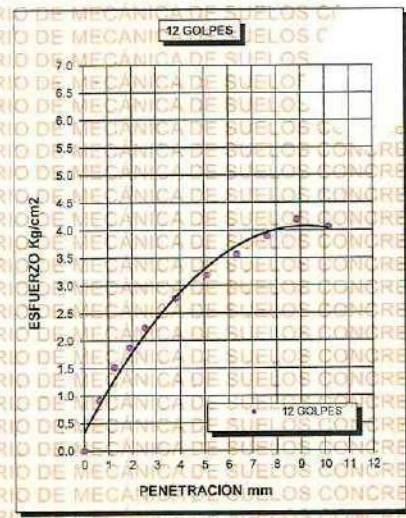
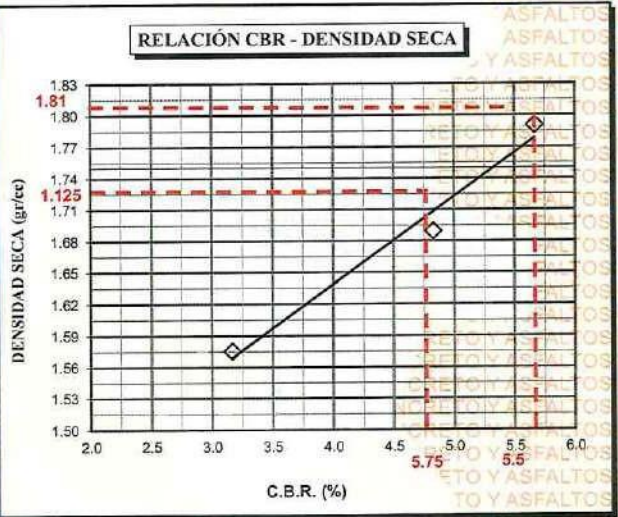
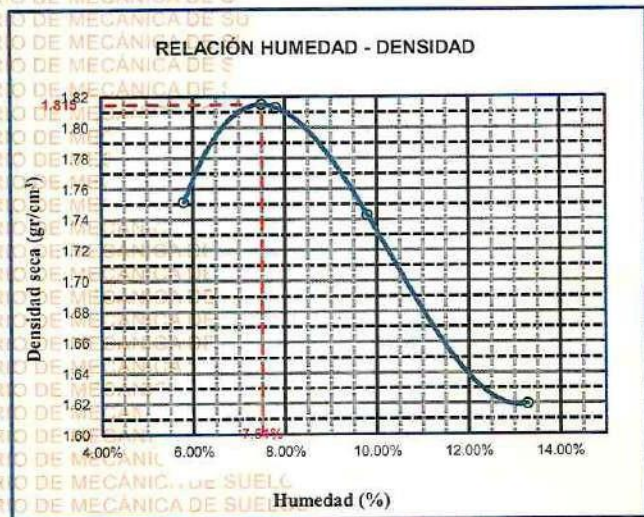
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 M.S.C. A  
 Ing. Arnaldo Yana Torres  
 C.I. 112937



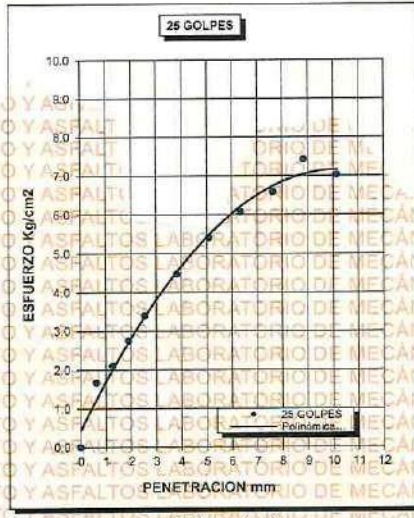
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



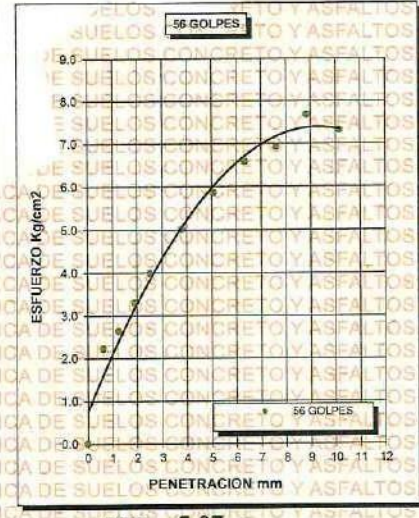
<b>PROYECTO :</b>	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-81</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA-NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.815
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.51%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 0+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 5.67
<b>MUESTRA :</b>	SUELO NATURAL - CALICATA - M1	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 5.38
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 3.17



CBR 4.83



CBR 5.67

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
LABORATORIO M.S.C.A. INGENIERÍA CIVIL  
Niver Augusto Tanta Huahua Nina  
08/07/2024



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



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS :	INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024
SOLICITANTE :	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA-NINA
UBICACIÓN :	CARRETERA ARAPA – ACHAYA
PROGRESIVA :	KM 2+500
MUESTRA :	CALICATA 2 - MUESTRA 2
FECHA :	08 DE JULIO DEL 2024

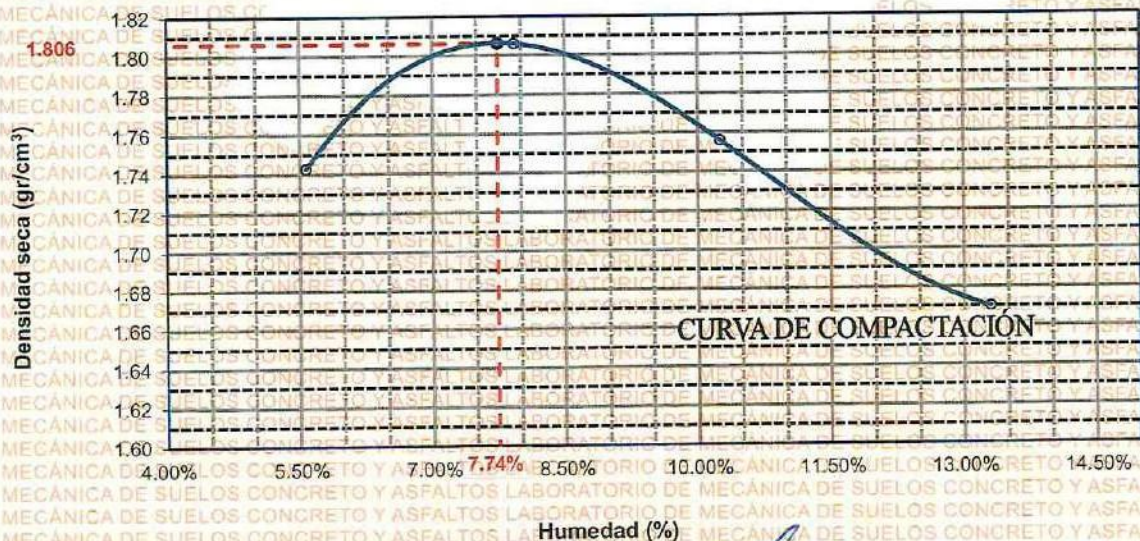
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

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

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.46	412.52	441.73	421.62	434.35	412.63	411.89	390.67
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	405.12	395.43	418.71	392.87	399.81	380.65	381.41	362.35
Peso del Agua	gr.	20.34	17.09	25.02	28.75	34.54	31.98	50.48	28.32
Peso de la Capsula	gr.	64.87	64.79	63.77	64.77	66.25	65.45	65.65	65.37
Peso del Suelo Seco	gr.	340.25	330.64	352.94	328.10	333.56	315.20	295.76	296.98
% de Humedad	%	5.98%	5.17%	7.09%	8.76%	10.35%	10.15%	17.07%	9.54%
Promedio de Humedad	%	5.57%		7.93%		10.25%		13.30%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.743		1.806		1.756		1.670	

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

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



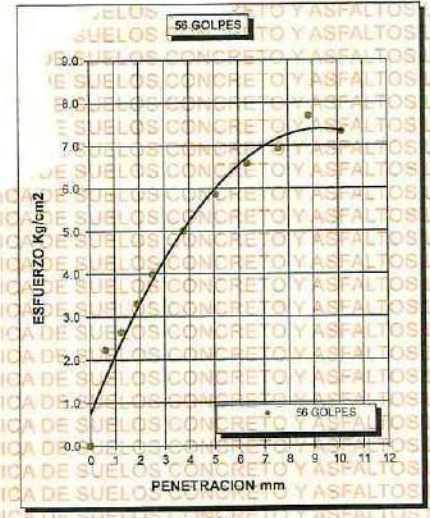
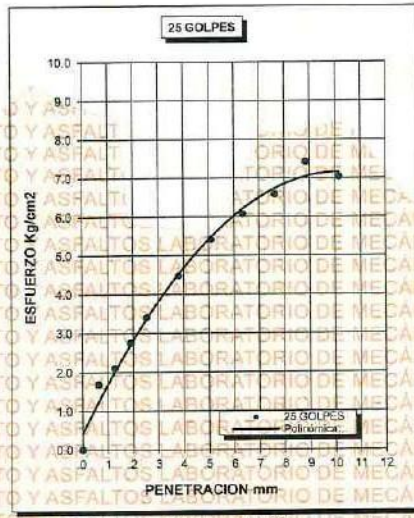
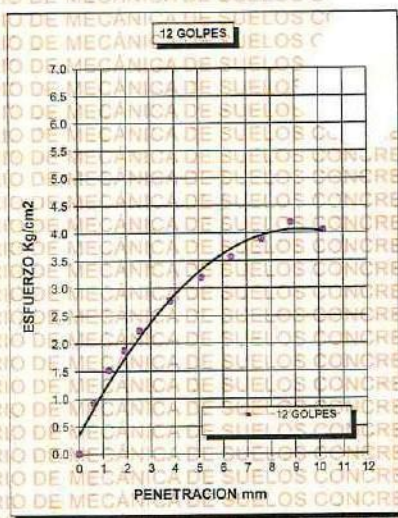
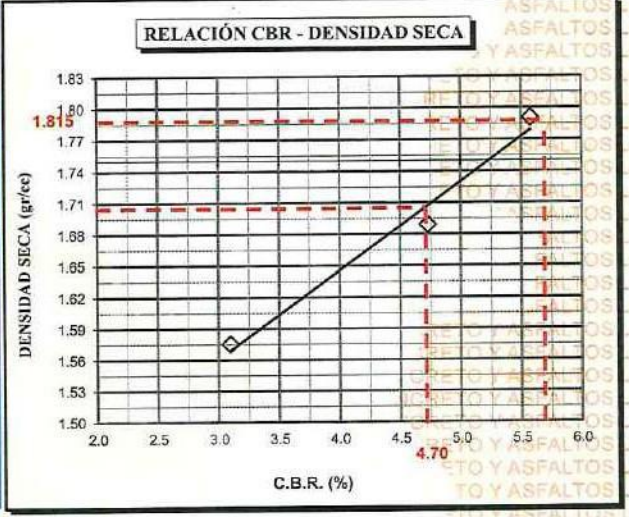
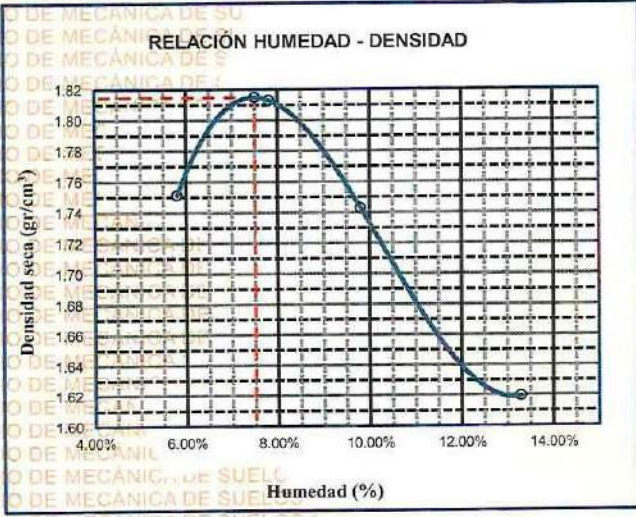
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 M.S.C.A. JEPATHA  
 Mr. Arnaldo Yana Torres  
 017 133 257



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



<b>PROYECTO :</b>	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA – ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.806
<b>UBICACIÓN :</b>	CARRETERA ARAPA – ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.74%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 2+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 5.58
<b>MUESTRA :</b>	SUELO NATURAL - CALICATA - M2	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 5.30
<b>FECHA :</b>	08 DE JULIO DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 3.10

CBR 4.73

CBR 5.58



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL  
M.Sc. A. Torres



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



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024		
SOLICITANTE	Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA		
UBICACIÓN	CARRETERA ARAPA - ACHAYA		
PROGRESIVA	KM 4+500		
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3		
FECHA	08 DE JULIO DEL 2024		

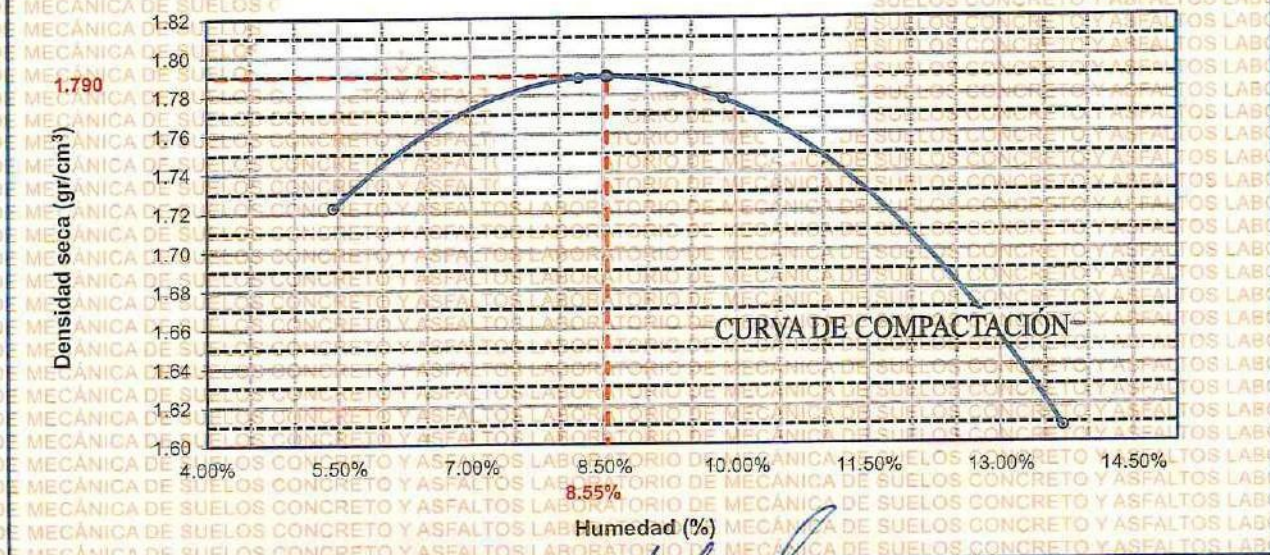
MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2105 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

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

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.76	409.55	438.12	418.98	430.26	409.28	406.96	385.76
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.24	391.95	413.65	388.35	398.79	377.85	356.49	356.60
Peso del Agua	gr.	18.52	17.61	24.47	30.63	31.47	31.93	50.47	29.16
Peso de la Capsula	gr.	64.85	64.74	63.35	64.45	66.25	65.65	65.74	66.62
Peso del Suelo Seco	gr.	337.39	327.21	350.30	323.90	332.54	311.70	290.75	290.08
% de Humedad	%	5.49%	5.38%	6.99%	9.46%	9.48%	10.24%	17.36%	10.05%
Promedio de Humedad	%	5.44%		8.22%		9.85%		13.71%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.723		1.789		1.778		1.608	

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

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



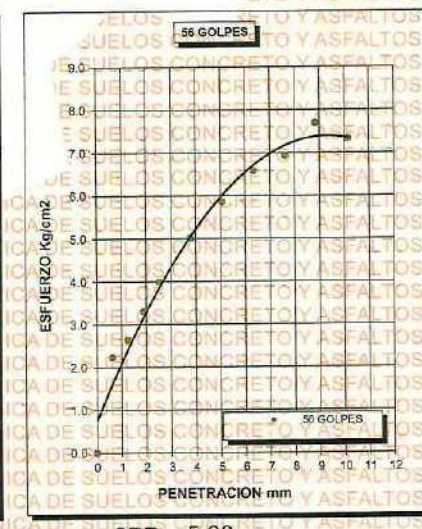
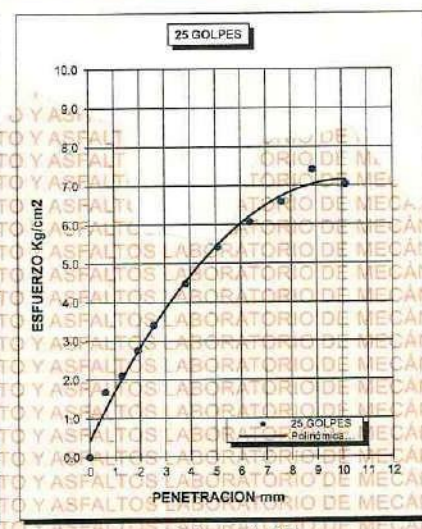
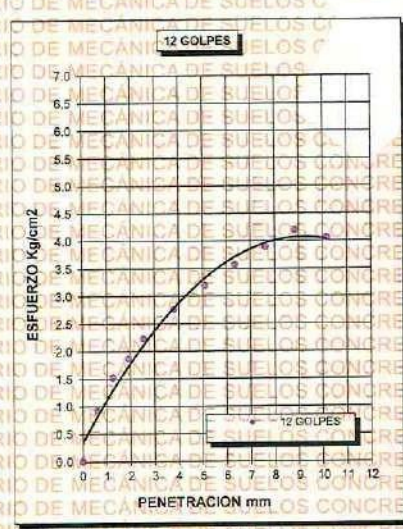
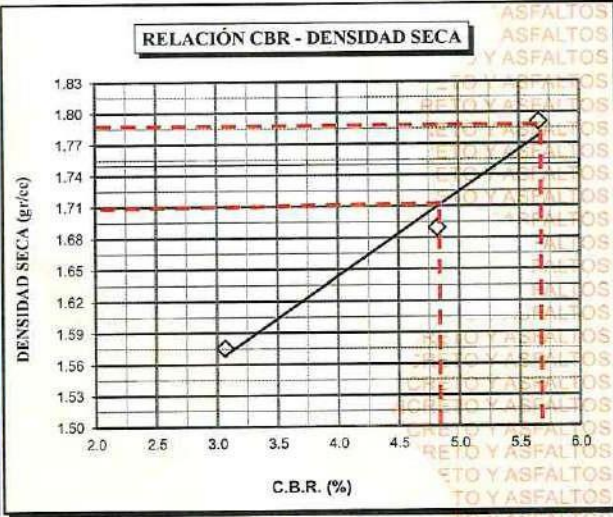
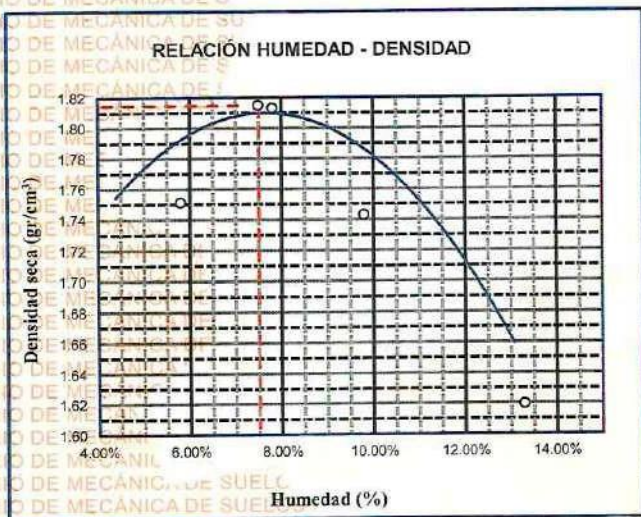
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CAP 103257



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



<b>PROYECTO</b>	"INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
	<b>SOLICITADO</b> : Bach. NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA-NINA	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b> : 1.790
<b>UBICACIÓN</b> : CARRETERA ARAPA - ACHAYA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> : 8.55%	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> : 5.66
<b>PROGRESIVA</b> : KM 4+500	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> : 5.38	<b>CLASIFICACIÓN</b> : CL
<b>MUESTRA</b> : SUELO NATURAL - CALICATA - M3	<b>AASHTO</b> : A-2	<b>EMBEBIDO</b> : 4 DIAS
<b>FECHA</b> : 08 DE JULIO DEL 2024		



*[Signature]*  
Mgtr. Anaido Iana Torres  
CIP 103257



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 08-11-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: NILVER AUGUSTO TANTAHUAHUA NINA

Dirección: Jr. SANTA ROSA 448

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70095043

Teléfono: 990689856 email: \_\_\_\_\_

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES Y CAL VIVA SOBRE LA CAPACIDAD DE

SOPORTE DE LA SUBRASANTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR

DE AFIRMADO EN LA CARRETERA ARAPA - ACHAYA 2024

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

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2?</sup>

1

<sup>1</sup> 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.

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



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

09-11-2024

Fecha